الدليل في الكيمياء

الكيمياء النووية

الدكتور

محمد إسماعيل علي الدرملي

دار العلم والإيمان للنشر والتوزيع

دار الجديد للنشر والتوزيع

540.25

ا.م

محمد اسماعيل علي . الدرملي ،

الدليل في الكيمياء: الكيمياء النووية / محمد اسماعيل علي الدرملي .- ط1.- دسوق:

دار العلم والإيمان للنشر والتوزيع، دار الجديد للنشر والتوزيع

172 ص ؛ 17.5 × 24.5سم .

تدمك : 4- 624– 308 – 977 – 978

1. الكيماء – أدلة

أ - العنوان .

الناشر : دار العلم والإيمان للنشر والتوزيع

دسوق - شارع الشركات- ميدان المحطة – بجوار البنك الأهلي المركز

E- elelm_aleman2016@hotmail.com & elelm_aleman@yahoo.com

mail:

الناشر : دار الجديد للنشر والتوزيع

تجزءة عزوز عبد الله رقم 71 زرالدة الجزائر

رقم الإيداع : 28016.

2018

الفصل الأول
الكيمياء النووية تعريفها وأستخدمها

تعتبر الكيمياء النووية من أحد أهم فروع الكيمياء وأيضا من العلوم الحديثة فاتجاه العالم الآن الى الطاقة النووية يعطي للكيمياء النووية مزيدا من الأهمية ومن المعروف أن التفاعل النووي يحدث بطريقتين إما أن تكون بانقسام النواة أوباندماج نواتين مع بعضهما وكلا الطريقتين تنتج طاقة هااااائلة جدا ولكن طريقة انقسام النواة تنتج طاقة أكبر من الطريقة الثانيةإبمعنى التفاعل النووي ببساطة هو تحوّل جزء صغير من المادة الى طاقة هائله جدا فلو حوّلنا 7جرامات من اليورانيوم الى طاقة لاستطاعت هذه الطاقة أن تسيّر أكبر ناقلة نفط في العالم حول الأرض سبع مرات.

كما أن تحوّل جرامواحد من أي عنصر الى طاقة لعادلت هذه الطاقة ما ينتجه حرق 1000 كيلو جراممن الفحم من طاقة . ولذلك لا عجب أن تستخدم الصواريخ المنطلقة الى الفضاءالوقود النووي.

يهتم الكيميائيون كثيراً بالتفاعلات الكيميائية Chemical reactions والتي تشمل في الغالب انتقال الإلكترونات من مادةلأخرى أو من عنصر لآخر ، ويولون اهتماماً أقل بالتفاعلات النووية Nuclear reactions والتي تشرك فيها الذرة نواتها في التفاعل.

إلا أن الآونه الأخيره شهدت اهتماماً أكبر من قبلهم بالتفاعلات النووية نظراً لاستخدامها في كثير من المجالات كاستخدامالطاقةالهائلة الناتجة عن التفاعلات النووية في توليد الطاقة الكهربائية ، وفيتسيير الغواصات والسفن والمركبات الفضائية، واستخدام العناصر المشعة في وخصوصاً في علاج مرض السرطان ، واستخدام النظائر المشعة في تقدير أعمارالصخور والأحافير ، واستخدامها أيضا ً في تحديد آلية التفاعلات الكيميائية ، وغيرها الكثير من المجالات.

وعلى الرغم من تلك الاستخدامات الرائعة للتفاعلات النووية ، إلا أن لها وجهاً آخر أسود ، يسيء به دائما ً لسمعة التفاعلات النووية وهي بالتأكيد الأسلحة النووية والتي راح ضحيتها الآف الضحايا في هيروشيما وناغازاكي، ولا يزال للآن يعاني أهلها جراء ذلك.

تعال معي الآن لنتعرف على كيفية حدوث التفاعل النووي ، ومصدر الطاقة الهائل فيه، وكيف يمكن استغلالها في الوجهين السلمي والعسكري وغيرها من الموضوعات.

التفاعل النوويNuclear reaction :

تعودنا في دروس الكيمياء أن نتعامل مع التفاعل الكيميائي.

ولكن ماذا عن التفاعل النووي وبماذا يختلف عن التفاعل الكيميائي ؟

التفاعل الكيميائي هو إعادة ترتيب للذرات دون المساس بصفاتها ، ويتضمن تكسير روابط كيميائية وتكوين أخرى جديدة ، كما ويتضمن التفاعل الكيميائي في الغالب انتقال

إلكترونات بين المواد المتفاعلة دون أن يحدث تغير على النواة ، ودونأن تتكون ذرات جديدة.

لاحظ ذلك من خلال تفاعل الهيدروجين مع الأكسجين لتكوين الماء:

لاحظ أن التفاعل الكيميائي السابق لم ينتج عناصر جديدة ، فعنصري الهيدروجين والأكسجين الموجودين على يسار التفاعل بقيا موجودين على يمين التفاعل ولكن الاختلاف بين المتفاعلات والنواتج هو تكسر الرابطة بين ذرتي الهيدروجين وتكسر الرابطة بين ذرتي الأكسجين ، وتكونت روابط جديدة بين ذرات الهيدروجينوالأكسجين ، ويتضمن التفاعل الكيميائي طاقة قليلة.

أما التفاعل النووي فيتضمن تغيراً في نواة الذرة ، وينتج عنه تكون عناصر جديدة ، كما تنتج عنه كمية عالية جداً من الطاقة.

لاحظ ذلك من خلال التفاعل النووي التالي:

لاحظأن التفاعل السابق قد تضمن تحول عنصر الراديوم (Ra) إلى عنصر جديد هوالرادون (Rn) ، وظهر مع النواتج عنصر ثان هو الهيليوم(He) .

النظائرIsotopes

تختلف العناصر فيما بينها في العدد الذري (عدد البروتونات) إلا أن هنالك عناصر تتشابه في العدد الذري وتختلف فيما بينها في العدد الكتلي وتعرف هذه العناصر بالنظائر.

تعني كلمة نظير (المكان نفسه) أي أن لها نفس المكان في الجدول الدوري ، إذ أنها لا تختلف فيما بينها في العدد الذري.

وعادةً ما يتم التعبيرعن النظائر بدلالة كتلها الذرية ، لأن أعدادها الذرية ثابتة.

مثال 1:

للهيدروجين (العدد الذري للهيدروجين = 1) ثلاثة نظائر مشهورة، تشترك جميعها فياحتوائها على نفس العدد من البروتونات (العدد الذري) . وتختلف فيما بينهافي عدد النيوترونات (العدد الكتلي).

يسمى كل نظير نسبة إلى عدده الكتلي:

يسمى النظير الأول للهيدروجين (هيدروجين - 1)

يسمى النظير الثاني للهيدروجين (هيدروجين - 2) أو الديوتيريوم.

يسمى النظير الثالث للهيدروجين (هيدروجين - 3) أو التريتيوم.

نظائر الهيدروجين

ظاهرة النشاط الإشعاعيRadioactivity

هنري بيكريل 1908 - 1852م اكتشاف ظاهرة النشاط الإشعاعي

في الأول من مارس (آذار) عام 1896 كان العالم الفرنسي هنري بيكريل يدرس خصائص بعض المعادن ، وكان مهتماً بالتحديد بدراسة قابليتها على عكس الضوء المرئي عند تعرضها لضوء الشمس ، ومن بين تلك المعادن عينة من خام اليورانيوم. وبمحض الصدفة لاحظ بيكريل انبعاث أشعة غير مرئية من خام اليورانيوم دون أن يتعرض لأشعة الشمس ، وقد أثرت هذه الأشعة بشكل غير متوقع على فلم فوتوغرافي بنفس الطريقة التي يؤثر فيها الضوء المرئي على الفلم الفوتوغرافي.

أما الصدفة التي أدت إلى هذا الكشف فقد كانت عندما تعرض فلم فوتوغرافي موضوع في أحد أدراج مكتب بيكريل للأشعة غير المرئية الناتجة عن أحد أملاح اليورانيوم الموضوع صدفة في الدرج نفسه ، وعند تظهير الفلم بعد أربعة أيام لاحظ ظهور صورة مفتاح على الفلم ، وقد كان المفتاح موضوع أصلاً على صفيحة الفلم الفوتوغرافي.

الفلم بعد أن قام بيكريل بتظهيره:

سميت ظاهرة إطلاق العناصر لأشعة غير مرئية بظاهرة النشاط الإشعاعي.

تعرف اليوم ظاهرة النشاط الشعاعي بأنها ظاهرة الانبعاث التلقائي للدقائق أو الطاقة من أنوية الذرات المشعة.

وقد قاد اكتشاف بيكوريل إلى بدايات النظرية الذرية الحديثة ، وإلى اكتشاف عناصر جديدة.

العناصر المشعةRadioactive Element :

اكتشاف الراديوم:

ماري كوري:

1934 -1867اهتم كل من بيير كوري Pierre Curie وزوجته ماري كوري Marie Curieبدراسة خصائص اليورانيوم وخاماته، وقد تبين لهما أن جميع خامات اليورانيومتظهر نشاطاً إشعاعياً متوسطاً باستثناء أحد الخامات والمعروف بإسم خامالبتشبلند المستخرج من بوهيميا،وقد أظهر هذا الخام نشاطاً إشعاعياً يفوق الخامات الأخرى بأربع مرات.

بيير كوري:

1906 -1859في عام 1898اكتشف الزوجين كوري عنصرين مشعين جديدين في خام البتشبلند أسموهما البلوتونيوم والراديوم ، ووجودهما في الخام هو سبب زيادة النشاط الإشعاعي للخام.

عزل الزوجين مليغرامات قليلة من كلوريد الراديومRaCl2 ، وقد تطلبت عملية عزل تلك الكمية الضئيلة أكثر من 10.000 عملية بلورة وإعادة بلورة.

وللراديوم نشاط إشعاعي يزيد عن النشاط الإشعاعي لليورانيومبنحو 1.000.000 مرة ، ولم يتسنى لمدام كوري عزل عنصر الراديوم بشكل نقي إلاعام 1910 . استحق الزوجين كوري جائزة نوبل في الفيزياء بالمشاركة معبيكريل عام 1903 لدورهما في النشاط الإشعاعي.

مصدر الراديوم:

يوجد الراديوم في خامات اليورانيوم بنسبة لا تزيد عن جزء إلى 3.000.000 جزء مناليورانيوم ، وتتطلب عملية استخلاصه جهداً مضنياً ، وتستخرج خاماته منأوروبا وأفريقيا وشمال كندا.

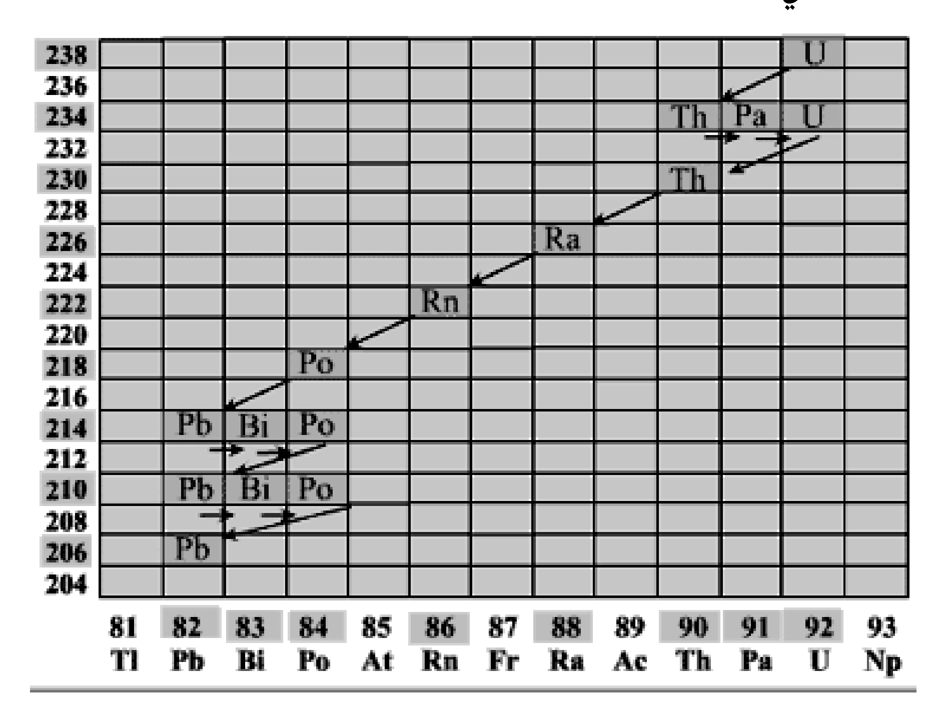
يوجد الراديوم في خاماته على شكل كلوريد وبروميد وكربونات الراديوم ، وهو مشع بشكله الحر أو على شكل مركبات.

سلاسل النشاط الإشعاعيRadioactive Series

جميع العناصر المشعة تنتمي إلى واحدة من ثلاث سلاسل تسمى كل واحدة منها سلسلة النشاط الإشعاعي ، تبدأ السلسلة الأولى بنظير اليورانيوم (238) ، والثانية بنظير اليورانيوم (235) ، بينما تبدأ الثالثة بنظير الثوريوم (232) ، وتوضح هذه السلاسل مراحل تحلل العنصر المشع.

الشكل الآتي يوضح سلسلة تحلل اليورانيوم (238) إلى رصاص (206).

العدد الكتلي



العدد الذري

سلسلة تحلل اليورانيوم (238) الى رصاص (206):

طاقة الربط النووي Binding Energy

تتكون نواة الهيليوم من بروتونين ونيوترونين ، ويمكن القول بأن:

تبلغ كتلة نواة الهيليوم 4.0015 وحدة كتلة ذرية.

تبلغ كتلة البروتون 1.0073 وحدة كتلة ذرية.

تبلغ كتلة النيوترون 1.0087 وحدة كتلة ذرية.

وبما أن نواة الهيليوم تتألف من بروتونين ونيوترونين، لذا يمكن حساب كتلة نواة الهيليوم على النحو التالي:

كتلة بروتونين = 2 × 1.0073 كتلة نيوترونين = 2 × 1.0087

كتلة بروتونين = 2.0146 كتلة نيوترونين = 2.0174

مجموع كتل البروتونات والنيوترونات = 2.0146 + 2.0174

4.0320 =وحدة كتلة ذرية

وبمقارنة كتلة الهيليوم الفعلية بمجموع كتل مكونات نواتها يلاحظ أن هنالك فرقاً في الكتلة:

يبلغ الفرق في الكتلة بين نواة الهيليوم الفعلية ومجموع مكوناتها 0.0305 وحدةكتلة ذرية ، ويتول هذا الفرق في الكتلة طبقاً لمعادلة أينشتاين ط = ك س2إلى طاقة ، تتحرر عندما تتكون نواة الهيليوم وتدعى هذه الطاقة بطاقة الربطالنووي.

طاقة الربط النووي : الطاقة المتحررة عند تكون أنوية الذرات من اتحاد مكوناتها.

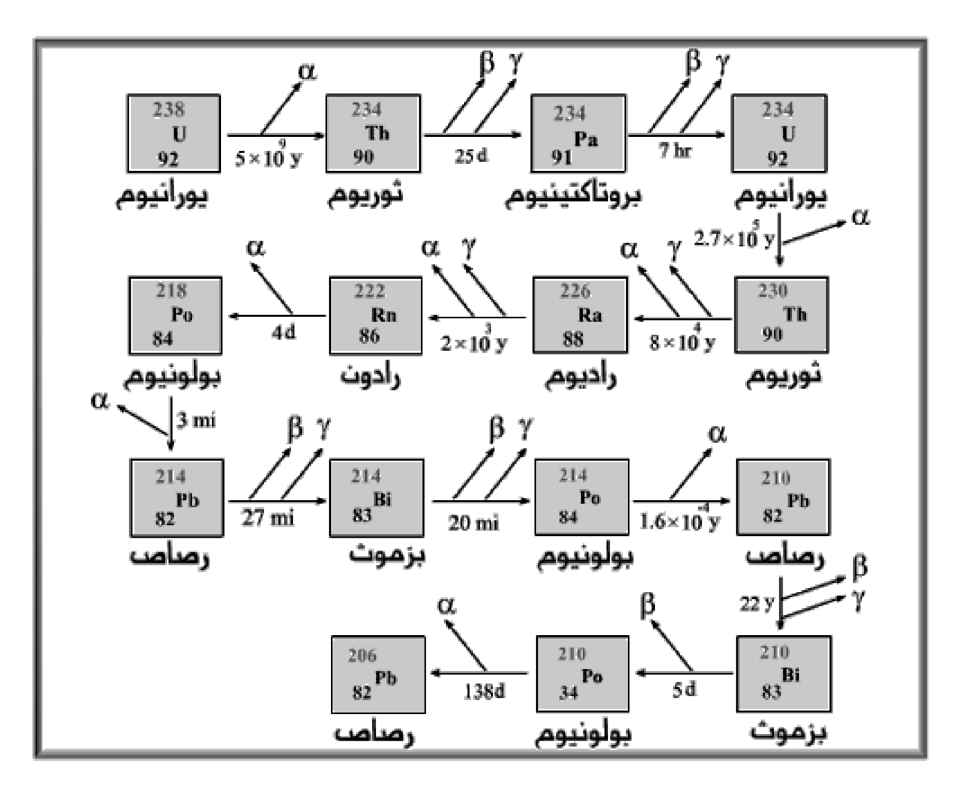
سرعة التحلل الإشعاعيRate of Radioactive Decay

تتحلل أنوية العناصر غير المستقرة بسرعات مختلفة ، فبعضها يحتاج لملايين السنين لكي يتحلل ، والبعض الآخر بحاجة لثوان لفعل ذلك.

تسمى الفترة الزمنية اللازمة لتحويل كتلة معينة من العنصر غير المستقر إلى نصفتلك الكتلة بعمر النصف (half – life) ويرمز لها بالرمز. (t 1/2)

ولكل نظير غير مستقر عمر نصف محدد خاص به ، فعلى سبيل المثال يبلغ عمر النصف للبزموث (214) (20) دقيقة (t 1/2 = 20 mi)، وهذا يعني أنه لو بدأنا بـ (10) غرام من البزموث ،سيبقى (5) غرام منه بعد مرور (20) دقيقة ، ونحتاج لـ (20) دقيقة أخرىلتحويل الـ (5) غرام من البزموث إلى (2.5) غرام ... وهكذا.

وللاحظة سرعة كل خطوة والدقائق والأشعة التي تنتج من كل خطوة من خطوات سلسلة النشاط الإشعاعي ، انظر للمخطط التالي



الزمن المعطى بين الخطوات يمثل فترة نصف العمر:

s : ثانية i : دقيقة d : يوم m : شهر Y : سنة أنواع

التفاعلات النووية Types of Nuclear Reactions

يمكن تقسيم التفاعلات النووية الى أربعة أقسام وهي:

التحلل النووي التلقائي. Radioactive decomposition

التفاعل النووي غير التلقائي. Nuclear disintegration

الانشطار النووي. Nuclear fission

الاندماج النووي. Nuclear fusion

.التحلل النووي التلقائي.

تتحلل أنوية العناصر الثقيلة غير المستقرة تلقائياً إلى أنوية أخف وأكثر استقراراً ، ويصدر عنها دقائق ألفا أو بيتا أو أشعة عاما.

أمثلة:

تحول نظير اليورانيوم تلقائياً إلى نظير الثوريوم وانطلاق دقيقة ألفا .

تحول نظير الثوريوم تلقائياً إلى نظير البروتاكتينيوم وانطلاق دقيقة بيتا.

المفاعلات النووية Nuclear Reactors

المفاعل النووي جهاز يستخدم للتحكم بالتفاعل النووي المتسلسل ويستخدم للحصول على الطاقة ولتحضير النظائر لعناصر جديدة.

أجزاء المفاعل النووي:

يتألف المفاعل النووي من الأجزاء الرئيسة التالية:

أولاً : الوقود النووي:

ويستخدم اليورانيوم الطبيعي في أغلب الأحيان كوقود في المفاعلات النووية على شكل اسطوانت صغيرة ، وفي بعض المفاعلات يستخدم اليورانيوم الطبيعي الغنيباليورانيم – 235 ، ويتم الحصول على الطاقة بانشطار اليورانيوم – 235 أوانشطار البلوتونيوم الناتج من اليورانيوم – 238 في اليورانيوم الطبيعي ، ويوضع الوقود النووي في حيز يسمى قلب المفاعل النووي.

ثانياً : المهديء:

وهي المواد التي تعمل على إبطاء النيوترونات السريعة ، وتكون عادة من الغرافيت، ويمكن استخدام الماء العادي أو الماء الثقيل كمهديء.

ثالثاً : قضبان التحكم:

وتتألف من قضبان من البورون أو الكادميوم أو الكوبالت ، لقابليتها على امتصاص النيوترونات ، وبذلك يمكن التحكم بسير التفاعل.

يتم التحكم بشدة التفاعل النووي عن طريق قضبان التحكم ، فعندما نرغب بتقليل سرعة الانشطار النووي يتم انزال قضبان التحكم بهدف امتصاص النيوترونات فتقل سرعة التفاعل ، وترفع القضبان عندما نرغب بزيادة سرعة التفاعل.

فصل نظائر اليورانيوم:

تعتمد شدة التفاعل النووي المتسلسل على نسبة اليورانيوم – 235 في الوقود النووي ، فكلما زادت نسبته كانت كمية الطاقة الناتجة أعلى ، ومن هنا تكمن الحاجة لفصل نظائر اليورانيوم عن بعضها للحصول على يورانيوم – 235 أنقى.

ومن الصعب فصل نظائر اليورانيوم عن بعضها بطرق كيميائية لأن نظائر العنصرالواحد متشابهه في السلوك الكيميائي ، إلا أن اختلاف النظائر في السلوك الفيزيائي يسهل علينا فصلها عن بعضها ، فالنظيرين يورانيوم – 235 ، ويورانيوم – 238 يختلفان عن بعضهما في الكتلة.

العلماء الذين عملوا على صناعة القنبلة النووية اكتشفوا العديد من الطرق لفصل نظائر اليورانيوم ، واحدى تلك الطرق طريقة الإنتشار الغازي والتي تعتمد على الاختلاف البسيطفي الانتشار خلال غشاء شبه منفذ بين سادس فلوريد اليورانيوم – 235 i92U235F6 وسادس فلوريد اليورانيوم – 238 i92U238F6 مما يؤدي إلى اتخاذ كلمنهما مسارين مختلفين عند التأثير عليهما بمجال كهرمغناطيسي مما يؤدي إلى فصلهما.

تطبيقات التفاعلات النوويةApplications of Nuclear Reactions

أولاً : توليد الطاقة الكهربائية

المفاعل النووي:

تمثل التفاعلات النووية مصدراً مهماً للطاقة ، ففي الولايات المتحدة الأمريكية ، فمثلاً تشكل الطاقة الكهربائية التي يتم الحصول عليها منالطاقة النووية 20% من مجمل الطاقة الكهربائية في البلاد.

التأثير الحيوي الإشعاعي:

تتعرض أجسامنا بشكل يومي للأشعة من مصدريها الطبيعي والصناعي ، فعلى سبيل المثال تتعرض أجسامنا للأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجية والأشعة المرئية الصادرة عن الشمس وأمواج الراديو والتلفزيون الصادرة عن محطات البث الإذاعي والتلفزيوني والأشعة السينية (أشعة X) الصادرة عن الإجراءات الطبية المختلفة ، كما أن أجسامنا تتعرض لأشعة مصدرها التربة ، وجميع هذه المصادروغيرها من مصادر الإشعاع تصدر طاقة تؤثر في خصائص المادة المستلمة لتلك الإشعاعات.

وعندما تمتص المادة الإشعاع تؤدي طاقتها إلى تهييج أو تأيين المادة.

يحدث التهيج عند انتقال الإلكترونات إلى مستوى طاقة أعلى أو عند زيادة حركة الجزيئات أو ارغامه على التحرك أو الدوران أو الاهتزاز ، أما التأين فيحدث عندما تعمل طاقة الإشعاع على إزالة الكترون من الذرات أو الجزيئات. وبشكلعام تسمى الأشعة التي تعمل على تأيين الذرات أو الجزيئات بالأشعة المؤينة Ionizing radiation، وهي من أكثر أنواع الأشعة تأثيراً على الأنظمةالحيوية كأنسجة جسم الإنسان فتعمل على تأيينها.

معظم الأنسجة الحيةتحتوي على 70% ماء بالكتلة ، وعند تعرضها للإشعاع فإن الماء فيها يتأين ،ومن الشائع تعريف الأشعة المؤينة على أنها الأشعة التي تؤين الماء ، وتتطلبهذه العملية 1216 كيلوجول/مول على الأقل لعمل ذلك ، ومنها ألفا وبيتاوغاما والأشعة السينية والأشعة فوق البنفسجية.

مشروع مانهاتن Manhattan Project :

في عام 1934 اكتشف عالم ألماني أن انشطار ذرة اليورانيوم يحدث بسرعة، ويولدكمية هائلة من الطاقة ، ويمكن أن يحدث إنفجاراً هائلاً . أخذ الألمان بتطوير هذه الفكرة والإستفادة منها في تصنيع القنبلة النووية ، لم يسترعذلك اهتمام أحد إلى أن قامت المانيا بإيقاف تصدير اليورانيوم من مناجم تشيكوسلوفاكيا المحتلة من قبل الألمان.

في الثاني من آب أغسطس 1939، وقبل بدء الحرب العالمية الثانية، قام البرت اينشتاين Albert Einstein بكتابة رسالة إلى الرئيس الأمريكي فرانكلين روزفلت Franklin D . Rooseveltواصفاً فيها الطاقة الهائلة التي تنتج عن الإنشطار النووي ، ومعبراً فيها وزملاءه عن قلقهم الشديد من إمكانية تحويل المانيا النازية للإنشطار النووي إلى قنبلة نووية.

اينشتاين عالم الماني المولد ، يهودي الديانة ، تركأوروبا قبل استلام هتلر للسلطة في المانيا ، عارض اينشتاين استغلال الطاقة النووية لتصنيع الأسلحة، وكان يخشى على العالم من امتلاك المانيا لهذه التقنية قبل الولايات المتحدة الأمريكية.

عقد قادة الجيشالأمريكي العزم على امتلاك هذه التقنية مهما كلف الأمر، فأخذوا يبحثون عنبناء يصلح كمختبر لإنتاج القنبلة النووية ، بحيث يبعد الموقع (200) ميل علىالأقل عن الحدود البحرية والدولية ، ويجب أن يبعد كثيراً عن التجمعات السكانية ، لأن أي خطأ قد يكلفهم الكثير من الخسائر البشرية.

استقررأيهم على مدرسة للأولاد في أرض صحراوية في ولاية نيومكسيكو في منطقة تعرف بإسم Jornada del Muerto وتعني رحلة إلى الموت، وتم تعيين روبرتأوبنهايمر على رأس فريق من العلماء في مشروع عرف بإسم مشروع مانهاتن السري . Manhattan Project وأخرجت بذلك الى الوجود أول قنبلة نووية أسقطت علىاليابان في السادس من أب / أغسطس عام 1945.

الفصل الثاني
الكيمياء النووية وفروعها

الكيمياء الاشعاعية Radiochemistry:

وهي فرع من فروع العلوم النووية التي تشمل الفيزياء النووية والتكنلوجيا النووية والكيمياء النووية والكيمياء الاشعاعية وتتداخل الكيمياء النووية مع الكيمياء الاشعاعية في مواضيعهما حيث تهتمان بدراسة العناصر المشعة وعمليات الانحلال الاشعاعي ونتائجه وتدرسان كيفية الوقايه من الاشعاع ووسائل الكشف عنه كما تدرسان كيفية استخدام هذا الاشعاع للاغراض الحياتيه المختلفه (الطبيه والزراعيه والصناعيه والغذائيه والاستكشافيه) كما تهتم بدراسة نوى الذرات ومكوناتها والعلاقه فيما بينها والطاقه المتحرره منها وتدرس التفاعلات النوويه التي تحدث نتيجة قصف النوى باشعاع معين وتدرس استخدام الطاقه النوويه لانتاج الكهرباء .

الدقائق النووية الاساسيه Principle Nuclear Particales :

يوجد في النواة دقائق عديده وصلت المعروفه منها 150 دقيقه ولا يعرف عنها إلا الشئ القليل ويمكن تصنيفها حسب كتلتها إلى :

الدقائق الخفيفه leptons : وهي الالكترون والنيترينو الذي يرمز له U كتلته صفر وشحنته صفر لذلك فهو جسيم طاقي.

الدقائق المتوسطه mesons : وتتراوح كتلتها من 280 – 1000 مره اكبر من كتلة الالكترون ونها البيوتونات–π 0 , π + , π والكاوونات K

الدقائق الثقيله baryons : ومنها البروتونات والنيوترونات.

القوى النووية Nuclear Forces :

تعتبر هذه القوى اشد القوى وتظهر كقوى جذب بين مكونات النواة مثلا p- , n-n n , p-p

أن هذه القوى قصيرة المدى حيث لايتجاوز مداها 12-10 سم أي بحدود نصف قطر النواة ، ان القوى النوويه تسببها جسيمات صغيره تسمى الميزونات وهذه الجسيمات موجوده في الطبيعه وان التجاذب بين النويات يحصل بواسطة تيار مستمر من الميزونات بين النويدتين .

الاصناف النووية Nuclear Species :

وهي عناصرلها عدد معين من البروتونات وعدد معين من النيوترونات أي عدد كتله معين واصطلح ان يكتب عدد الكتله على الجهه العليا اليسرى من رمز العنصر وقد يكتب العدد الذري اسفله مثال ذلك :

$^{238}_{92}U$ ، $^{4}_{2}He$ ، $^{60}_{27}Co$ ، $^{59}_{27}Co$

تقسم الاصناف النوويه الى أربعة أصناف وهي :

النظائر Isotops : وهي الاصناف النوويه التي تتساوى في اعدادها الذريه Z وتختلف في اعدادها الكتليه A أي انها تحتوي على اعداد مختلفه من النيوترونات n مثال على ذلك نظيري الكوبالت اعلاه وتقسم النظائر حسب نشاطها الاشعاعي الى :

A : النظائر المستقره : وهي النظائر غير المشعه حيث ان نويداتها ثابته حيث على الاغلب تحتوي على عدد زوجي من البروتونات والنيوترونات . توجد حوالي 275 نواة مختلفه لاتظهر نشاطا اشعاعيا منها 60 % تمتلك عدد زوجي من n و p ومنها 40% تمتلك عدد زوجي من n وفردي من p أو العكس وتوجد فقط ستة نوى مستقره تمتلك عدد فردي من n وعدد فردي من p وهي : $^{2}_{1}H$ ، $^{6}_{3}Li$ ، $^{10}_{5}B$ ، $^{14}_{7}N$ ، $^{50}_{23}V$ ، $^{180}_{73}Ta$

B : النظائر غير المستقره : وهذه النظائر مشعه حيث ان نويداتها غير مستقره تتحول الى نويدات مستقره وذلك ببعثها اشعاعات مختلفه ناتجه عن تفاعلات نوويه فيما بين النويدات النوويه وهذه العمليه تسمى بالنشاط الاشعاعي واغلبها تحتوي علىاعداد منفرده من البروتونات والنيوترونات .

Isobars : وهي النويدات التي تحتوي على اعداد ذريه مختلفه واعداد كتله متساويه مثل : $^{130}_{56}Ba$ ، $^{130}_{54}Xe$ ، $^{130}_{52}Te$

Isotons : وهي النويدات التي تحتوي على اعداد متساويه من النيوترونات واعداد كتله مختلفه مثل :

$^{32}_{16}S$ ، $^{31}_{15}p$ ، $^{30}_{14}Si$

Isomers : وهي نويدات لها نفس العدد الذري والعدد الكتلي ولكنهما يختلفان بالخصائص الاشعاعيه كشكل الانحلال وطاقته وعمر النصف وغالبا مايكون احدهما مشع والآخر مستقر مثلا : ^{60m}Co ، ^{60g}Co **حيث يرمز للنويده المستقره g وتعني ground state وللنويده المشعه m وتعني metastable**

التفاعل النووي والتفاعل الكيمياوي:

التفاعل النووي	التفاعل الكيمياوي
ذرات عنصر واحد معين تتحول الى ذرات عنصر آخر.	ماده واحده تتحول الى ماده أخرى ولكن لاتتغير هوية الذرات.
البروتونات والنيوترونات ودقائق اخرى تشارك في التفاعل، في حين ان الالكترونات المداريه نادرا ماتشترك في التفاعل.	الالكترونات المداريه هي التي تشترك في التفاعل حيث تتكسر اواصر وتتكون اواصر غيرها وان الدقائق النوويه لاتشترك في التفاعل.
التفاعل يصاحبه تغير كبير في الطاقه وتغيرات ممكن حسابها في الكتله.	التفاعل يصاحبه تغير طفيف في الطاقه بدون تغير في الكتله.
سرعة التفاعل تتاثر بعدد النوى ولاتتاثربدرجة الحرارهأو العوامل المساعده او نوع المركب المتواجد فيه العنصر المشع.	سرعة التفاعل تتأثر بدرجة الحراره والتركيز والعوامل المساعده ونوع المركب المتواجد فيه العنصر.

الاشعاع :

ماهو الاشعاع ؟ الاشعاع من وجهة النظر الفيزياويه هو حاله فيزياويه تتواجد فيها أمواج كهرومغناطيسيه أو جسيمات تمتلك صفه موجيه لها طاقه معينه في بداية تكونه وطاقه أخرى في نهاية تكونه وينتهي الاشعاع عندما تصبح طاقته صفر.

تصنيف الاشعاع :

1- الاشعاع الموجي :

A: الاشعاع المؤين : مثل اشعة γ واشعة X

B: الاشعاع غير المؤين : مثل الضوء العادي (المرئي) .Visb ، الاشعه الفوق بنفسجيه .U.V ، الاشعه تحت الحمراء .I.R ، الليزر

2- الاشعاع الجسيمي (كله مؤين) :

A : جسيمات مشحونه : مثل α, β , p

B: جسيمات غير مشحونه :مثل n

تعتمد قابلية الاشعاع على التأين على مقدار طاقته والتي تحدد بالمقدار hU التأين : هو عملية ازاحة احد الكترونات الذره وينتج عنها مايعرف بالزوج الآيوني (ion pair) وفي التفاعلات النوويه يحصل نوعين من التاين.

التأين المباشر : وهو تكوين الازواج الآيونيه مباشرة عند قصف الذره بدقيقه مشحونه لها طاقهكافيه لاحداث عملية التأين او تقصف بفوتونات ذات طاقه عاليه كافيه لاحداث عملية التأين.

التأين غير المباشر : وهو تكوين الازواج الآيونيه بصوره غير مباشره ويحدث عند قصف الذره بجسيمات غير مشحونه مثل النيوترونات حيث تتولد نتيجة ذلك جسيمات مشحونه تقوم بانجاز عملية التأين.

ملاحظه : الاشعه التي طاقتها تتراوح مابين 100 – 1000 الكترون فولت تعتبر اشعه مؤينه.

حساب طاقة الاشعه:

تحسب طاقة الاشعه بوحدات الجول أوالالكترون فولت ووحدة ال ev في الكيمياء الاشعاعيه هي التي تستخدم .

ev : هو مقدار الطاقه المتحرره عند مرور شحنه مقدارها الكترون واحد بين نقطتين فرق الجهد بينهما فولت واحد أي ان.

الطاقه بوحدة ev = شحنة الالكترون * 1 فولت.

وبما ان الفولت هو الشغل المصروف لنقل وحدة الشحنه.

(الفولت = جول / كولوم)

ev = 1.6 * 10-19 coul J / coul

ev = 1.6 * 10-19 J

العلاقه بين الطاقه بوحدة ev والطول الموجي للاشعاع بوحدة الانكستروم

E = hυ =h c / λ

E = 6.63 * 10-34 J s * 3* 108 m s-1 / λ A0

1m = 1010 A0

1ev = 1.6 * 10-19 J

Eev = 12400 / λ(A0)

الاشعاع الموجي : عباره عن امواج تتكون من مجالين متعامدين أحدهما كهربائي والاخر مغناطيسي وكلاهما عمودي على اتجاه سير الموجه ولهما طور واحد لذلك فالموجه تكون مستعرضه ذات ثلاثة ابعاد.

خواص الموجه الكهرومغناطيسيه:

سرعتها في الفراغ تساوي 3* 810 م / ثا.

المجالان الكهربائي والمغناطيسي الذان يكوناها عموديان على بعضهما ولهما طور واحد.

طاقة الموجه تتوزع بين المجالين بالتساوي.

تختلف الامواج الكهرومغناطيسيه فيما بينها نتيجة اختلافها بالطاقه.

يمكن ان تفقد الموجه طاقتها او تتحول طاقتها الى شكل اخر عند اصطدامها بالماده.

انواع الاشعه الموجيه:

الاشعه السينيه X-RAY :

يتراوح طولها الموجي 1 – 100 انكستروم وهي على نوعين :

الاشعه السينيه المميزه .

الاشعه السينيه ذات الطيف المستمر.

الاشعه السينيه المميزه :ان الميكانيكيه العامه لتوليدها تتضمن خلع الكترون من مدارات الذرة الداخليه يتبعه املاء الفجوه التي تركها بالكترون من مدار اعلى واثناء عملية الانتقال لهذا الالكترون يبعث اشعه سينيه ممزه تميز كلا من المدار والذره الباعثه .

طرق توليد الاشعه السينيه المميزه:

التأثير الكهروضوئي : حيث يتم قصف ذره معينه بأشعة كاما او أشعة اكس المتفلوره ونتيجه لهذا القصف تحدث الميكانيكيه اعلاه .

قصف الذره بأشعه جسيميه ذات طاقه عاليه مثل سيل من الالكترونات او البروتونات اودقائق الفا تؤدي الى حدوث الميكانيكيه اعلاه

اثناء عملية التحول الداخلي حيث تحدث هذه العمليه للنويدات التي تشع اشعة كاما حيث ان هذه الاشعه عند امتصاصها من قبل احد الالكترونات المداريه القريبه من النواة فسوف يقذف هذا الالكترون وتحدث الميكانيكيه اعلاه.

الأسر الالكتروني : حيث تأسر نواة عنصر معين احد الكتروني الغلاف K القريب منها وتحدث الميكانيكيه اعلاه.

الاشعه السينيه ذات الطيف المستمر : تسمى هذه الاشعه البرمشتالنك وهي كلمه المانيه تعني الكبح أو الابطاء للاشعه . فعند مرور الالكترونات المعجله في المجال الكهربائي للنواة الهدف تبدأ بالتباطؤ السريع نتيجه لتنافرها مع الكترونات الذره الهدف

وهذا التنافر يؤدي الى انحراف مسارها، التباطؤ والانحراف يؤدي الى فقدان هذه الالكترونات جزء من طاقتها والتي يظهر على شكل اشعه سينيه ذات طيف مستمر وكلما ازداد العدد الذري للذره الهدف ازدادت شدة الاشعه المنبعثه

أشعة كاما γ : تنطلق اشعة كاما من المصادر المشعه الطبيعيه أو الصناعيه اثناء عملية الانحلال الاشعاعي حيث ان النواة المتهيجه تعود الى حالة الاستقرار عند فقدانها للطاقه على شكل اشعة كاما ، ان اهم مصدر معروف لاشعة كاما هو الكوبالت – 60 حيث انه اثناء عملية انحلال النيكاترون له (تبعث نواته -β بطاقه تساوي 0.31 الكترون فولت) تبقى نواته متهيجه وتحمل طاقه مقدارها 2.5 Mev حيث تتخلص هذه النواة من الطاقه هذه بمرحلتين : الاولى انبعاث كاما بطاقه مقدارها 1.17 Mev والمرحله الثانيه انبعاث كاما بطاقه مقدارها 1.33 Mev والنتيجه الحصول على الوليده النيكل – 60

$$^{60}_{27}Co \rightarrow \beta(0.31ev) + Co^{*}(2.5Mev) \rightarrow \gamma(1.17Mev) + Co^{*}(1.33Mev) \rightarrow \gamma(1.33Mev) + ^{60}_{28}Ni$$

مقارنه بين اشعة اكس واشعة كاما :

اشعة اكس	اشعة كاما
تنبعث عندما تعاني الالكترونات المداريه تغيرا في موقعها بين المدارات . طيفها قد يكون مستمرا او احديا. طيفها صفه مميزه للذرات. لايمكن تمييز النظائر المختلفه بواسطة طيفها.	منشئها من نواة الذره حيث تنتج من التغيرات التي تحصل في النواة. طيفها مستمرا. طيفها صفه مميزه للنواة . يمكن ان يستخدم طيفها للتمييز بين النظائر المختلفه .

س : ماسبب انبعاث اشعة كاما ؟

الاشعاع الجسيمي:

جسيمات α : وهي عباره عن نواة ذرة الهيليوم (بروتونين ونيوترونين) تحمل دقائق الفا شحنه موجبه ثنائيه وكتلتها 4.002603 وحدة كتله ذريه وعند انبعاثها فان العدد الكتلي للام يقل بمقدار 4 وعددها الذري يقل بمقدار 2 ، ونظرا للكتله الكبيره لها فانها تحتاج الى طاقه كبيره جدا لكي تتحرك بسرعه تقارب سرعة الضوء وعند هذه السرع تعتبر اشعاع جسيمي ويمكن تطبيق معادلة بلانك عليها وعندما تكون سرعتها قليله

فانها تعد جسيما غير نسبي وتطبق عليها القوانين الكلاسيكيه لحركة الجسيم ، ان المصدر الطبيعي لدقائق الفا هو انحلال اليورانيوم – 238 الى الثوريوم – 234 ، ان مدى الفا قصير لذلك فان الورقه العاديه تكفي لايقافها وذلك لكتلتها الكبيره التي تجعلها تسير ببطئ مما يزيد من احتمالية تفاعلها مع الماده الماره خلالها مما يؤدي الى فقدانها لطاقتها وتوقفها كما ان التأين الذي تحدثه في المادة كبير بسبب شحنتها العاليه وسرعتها البطيئه التي تساعد على ذلك بشكل كبير.

العلاقه بين طاقة الفا وطاقة الوليده وQ للتفاعل :

$$^{A}X \rightarrow {}^{A-4}y + \alpha + Q$$

$$Q = E_{\alpha} + E_{y}$$

$$Q = 1/2M_{\alpha}V_{\alpha}^{2} + 1/2M_{y}V_{Y}^{2}$$

$$M_{Y}V_{Y} = M_{\alpha}\ V_{\alpha}$$

$$V_{Y} = M_{\alpha}V_{\alpha} / M_{Y}$$

$$Q = 1/2M_{\alpha}V_{\alpha}^{2} + 1/2M_{Y} \times M_{\alpha}^{2}V_{\alpha}^{2} / M_{Y}^{2}$$

$$Q = 1/2M_{\alpha}V_{\alpha}^{2}(1 + M_{\alpha} / M_{Y})$$

$$M_{\alpha} / M_{Y} = 4 / A - 4$$

$$Q = E_{\alpha}(1 + 4 / A - 4)$$

$$Q = E_{\alpha}(A - 4 + 4 / A - 4)$$

$$Q = E_{\alpha}(A / A - 4)$$

$$E_{\alpha} = Q(A - 4) / A$$

س : احسب الطاقه الحركيه لجسيم الفا المنبعث من انحلال 212Po والطاقه الحركيه للوليده المرتده 208Pb ؟

العلاقه بين طاقة الفا ومداها :

ان مقدار طاقة الفا الناتجه من التفاعلات النوويهتتراوح بين Mev 9-4 ان مدى جسيمات الفا قصير جدا ويحسب كالاتي :

$$R_{\alpha(air)} = 0.4 \times E_{\alpha}^{\frac{1}{3}}$$

$$R_{\alpha(z)} = 0.173 \times E_{\alpha}^{\frac{3}{2}} \times A_{Z}^{\frac{1}{3}}$$

يقاسR بوحدة مغم / سم2 ، A الوزن الذري للماده يقاس بالغرام يجب ان يحول الى مغم ، E يجب ان تقاس بوحدة مغم . سم2 / ثا2 ويتم التحويل كالاتي :

E بوحدة ev تحول الى الجول (كغم . م2 / ثا2) وهذه تحول الى مغم . سم2 / ثا2.

ومن مدى الفا يمكن حساب سمك الاختراق d لها $R\alpha(z)=d\rho(z)$

حيث ان ρ كثافة الماده التي تمر خلالها الفا .

س : احسب سمك اختراق الفا طاقتها Mev 8.78 عند قصفها لوح من الالمنيوم كثافته 5.9 غم / سم2 ووزنه الذري 26.98154 ؟

س : احسب مدى الفا في الهواء عند انبعاثها من انحلال البولونيوم – 212 اذا علمت ان الكتل الذريه للبولونيوم 211.98886 وللوليده 207.97665 ولالفا 4.002603 ؟

الفصل الثالث
الكيمياء النووية ومجالاتها

هو أحد فروع الكيمياء الذي تتعامل مع الفعالية الإشعاعية radioactivity، والعمليات النووية والخواص النووية، أي أنه يمكن من خلالها تحويل الرصاص إلى ذهب ، أو تحويل ذرة إلى ذرة عنصر أخرى كما انها من الأشياء الخطيرة جدا علي الصحة الآدمية لما لها من أضرار على الإنسان والكائنات الحيه الأخرى من الأمراض السرطانية وتشويه الاجنة في الأرحام ولقد حذرت منظمة الصحة العالمية من هذه الأضرار في مؤتمرات عدة.

ويمكن تقسيمها إلى التصنيفات التالية :

كيمياء إشعاعية.(Radiochemistry)

كيمياء النظائر.(Isotopic chemistry)

رنين نووي مغناطيسي.(Nuclear magnetic resonance)

ومن الدول المتقدمة في هذا المجال هم : الولايات المتحدة المملكة المتحدة روسيا.

وفي ما يلي تفصيل لك قسم من اقسام الكيمياء النووية:

الكيمياء الإشعاعية (بالإنجليزيRadiochemistry) :

مجال كيميائي يعنى بدراسة العناصر المشعة. كما يعالج إنتاج وتعريف واستخدام مثل تلك العناصر ونظائرها. وقد أفادت الكيمياء الإشعاعية، علم الأثار وعلم الكيمياء الحيوية والمجالات العلمية الأخرى. وتستخدم التقنيات الإشعاعية الكيميائية في الغالب في مجال الطب للمساعدة في تشخيص المرض، وفي العديد من الدراسات البيئية.

تدرس الكيمياء الإشعاعية جميع أنواع الإشعاعات، سواءً كانت طبيعية أو كانت مصنوعة من قبل الإنسان.

أنماط الإضمحلال الرئيسية :

أنماط الإضمحلال الرئيسية إن جميع النظائر المشعة هي نظائر غير مستقرة لجميع العناصر-و ذلك يخضع للإضمحلال النووي مما يؤدي إلى انبعاث بعض الأنواع من الإشعاعات. قد تكون تلك الإشعاعات المنبعثة واحدة من ثلاث أنواع، إما أن تكون ألفا أو بيتا أو أشعة غاما.

α إشعاع (ألفا) - هي انبعاث لجسيمات ألفا (التي تحتوي على 2 من البروتونات و2 من النيوترونات) من النواة الذرية. و عندما يحصل هذا، فأن الكتلة الذرية الخاصة بالذرة ستنقص 4 وحدات كما تنقص العدد الذري بمعدل وحدتين.

β إشعاع (بيتا) - وهي تحول النيوترون إلى إلكترون و بروتون. بعد حدوث هذه العملية ، تنبعث الإلكترون من النواة إلى الغيمة الإكترونية. electron cloud

إشعاع غاما - هي انبعاث للطاقة الكهرومغناطيسية (إشعة أكس على سبيل المثال) من نواة الذرة. و يحدث هذا عادةً خلال الإضمحلال الإشعاعي radioactive decay لألفا وبيتا.

يمكن أن تُميّز هذه الثلاثة أنواع من الإشعاعات عن بعضها على حسب قوة اختراقها للأجسام.

فيمكن إيقاف جسيم ألفا بسهولة كبير وذلك عندما تنطلق لعدة سنتيمترات في الهواء أو بإيقافها بواسطة قطعة ورقية، هذا الجسيم هو نظير نواة الهيليوم. أما الجسيم بيتا فيمكن أيقافه بواسطة ورقة من الألمنيوم تكون سمكها فقط عدة مليمترات،

و هذا الجسيم هي عبارة عن ألكترون. غاما هي أكثر الإشعاعات قوةً في اختراق الأجسام و هي فوتون ذات طاقة عالية و بدون شحنة و بدون كتلة. تحتاج أشعة غاما إلى كمية محددة من المعدن الثقيل للوقاية من أشعاعها (وعادةً ما تكون معتدة على الرصاص أو على الباريوم) للتقليض من حدة ضررها.

التحليل التنشيطي:

عند إطلاق أشعة من النيوترونات خارج الأجسام فأن هذا قد يؤدي إلى نشاطاً إشعاعياً؛ هذا النوع من التنشيطات للنظائر المستقرة لصنع نظير مشع هو أساس تحليل التنشيط النيوتروني .neutron activation analysis واحدة من أكثر المواضيع إثارةً التي تمت دراستها بهذه الطريقة هي دراسة شعر رأس نابليون، التي تمت فحصها و دراستها بسبب محتواها الزرنيخي.

توجد سلسلة من الطرق التجريبية المختلفة، صممت لتمكين قياس نطاق العناصر المختلفة في المصفوفات المختلفة. و لقيام بحث تأثير أحد المصفوفات

فمن الشائع استعمال الإستخراج الكيميائي للعنصر المطلوب و/أو بسماح للنشاط الإشعاعي الناتج من العنصر المصفوفي بالإضمحلال قبل قياس نشاطها الإشعاعي. بما أن تأثير المصفوفة يمكن أن تُصحح بمراقبة طيف الإضمحلال، فأن هذا سيتطلب تحضير القليل من العينة و ذلك لبعض الأنواع من العينات، مما يجعل من تحليل التنشيط النيوتروني أقل عرضة للتلويث.

يمكن أن تُرى التأثيرات الناجمة عن سلسلة مختلفة من أوقات التبريد إذا تعرضت العينة الافتراضية التي تحتوي على الصوديوم، و اليورانيوم و الكوبالت في نسبة 100:10:1 لنبضة قصيرة جداً من النيوترونات الحرارية. و بذلك ستسيطر نشاط 24 Naعلى النشاط الإشعاعي البدئي، لكن مع مرور الوقت ستسود عليها نشاط 239 Npو نشاط 60. Co

نظائر العناصر الكيميائية:

هي أشكال من العنصر الكيميائي لذرتها نفس العدد الذري Z، ولكنها تختلف في الكتلة الذرية وكلمة نظير، تعنى نفس المكان.

عند تطبيق عملية التسمية العلمية فإن النظير (النويدة ((Nuclide) محدد بإسم العنصر متبوعا بشرطة ثم عدد النوكلونات (البروتونات والنيوترونات) الموجودة في نواة الذرة (مثال ، هيليوم-3 . كربون-12 ، كربون-14 ، حديد-57 ، يورانيوم-238) . وعند استخدام الإختصارات فإنه يتم وضع رقم النوكلونات أعلى رمز العنصر .

(He, 12C, 14C, 57Fe, 238U)3

اختلاف الخواص بين النظائر:

في النواة المتعادلة،عدد الإلكترونات يساوى عدد البروتونات. وعلى هذا فإن النظائر المختلفة يكون لها نفس عدد الإلكترونات ونفس الشكل الإلكتروني. ونظرا لأن تصرف الذرة كيميائيا يتم تحديده بالتركيب الإلكتروني، فإن النظائر تقريبا تسلك نفس السلوك الكيميائي. الإستثناء الأساسي أنه نظرا لوجود اختلاف في كتلتها ، فإن النظائر الثقيلة تميل لأن تتفاعل بصورة أبطأ من النظائر الأخف لنفس العنصر . (تسمى هذه الظاهرة تأثير حركة النظائر)

ويلاحظ تأثير الكتلة بشدة عند النظر للبروتيوم (H1) مقابل ديتيريوم (H,2) نظرا لأن الديتريوم له ضعف كتلة البروتيوم . أما بالنسبة للعناصر الأثقل فإن تأثير الكتلة النسبي بين النظائر يقل ويكاد ينعدم كلما زاد ثقل العنصر.

وبالمثل ، فإنه لجزيئين يختلفان فقط في طبيعة النظير المكون لكل "متناظرين" منهما سيكون لهما تقريبا نفس نفس التركيب الإلكتروني ، وعلى هذا سيكون لهما خواص فيزيائية وكيميائية متشابهه . الأشكال الإهتزازية للجزيء يتم تحديدها بشكل الجزيء وكتلة الذرات المكونة له . وبالتالى فإن هذين المتناظرين سيكون لهما شكلان إهتزازيان مختلفان. حيث ان الشكل الإهتزازي يسمح للجزيء بإمتصاص الفوتونات الملائمة لطاقة هذا الإهتزاز، ويتبع ذلك أن يكون للمتناظرين خواص ضوئية مختلفة في المنطقة تحت الحمراء.

وبالرغم من أن النظائر لها تقريبا نفس الخواص الإلكترونية والكيميائية ، فإن سلوكها الجزيئي مختلف تماما . تتكون النواة الذرية من بروتونات ونيترونات مرتبطة معا بقوى نووية قوية . ونظرا لأن البروتونات لها شحنة موجبة ، فإنها تدفع بعضها البعض . وتقوم النيوترونات بعمل بعض الفصل بين الشحنات الموجبة ، مما يقلل من التنافر الكهرستاتيكي ، وتساعد على ثبات النواة . وبزيادة عدد البروتونات ، تزداد الحاجة لنيوترونات أكثر لعمل ثبات للنواة . فمثلا ، على الرغم من أن نسبة نيوترون / بروتون في He 3هي 1 / 2 ، فإن نيوترون / بروتون في U238 أكبر وتصل إلى 3 / 2 . وفى حالة وجود نيوترونات أقل أو أكثر من المفترض ، فإن النواة تكون غير مستقرة ، وينتج الإضمحلال النووي.

التواجد في الطبيعة يمكن لعدة نظائر لنفس العنصر أن تتواجد في الطبيعة.ونسبة التواجد لنظير تتناسب بشدة مع ميله ناحية الإضمحلال النووي، النيوكليدات التي تعيش لفترة قصيرة تضمحل سريعا ، بينما تعيش مكوناتها. وهذا لا يعنى أن هذه الأصناف تختفى تماما ، نظرا لأن كثير منها يتكون أثناء إضمحلال الأصناف ذات العمر الأطول. يتم حساب الكتل الذرية للعناصر بعمل متوسط للنظائر التي لها كتل مختلفة.

وبالتوافق مع علم الكون، فإن كل النويدات ما عدا نظائر الهيدروجين والهيليوم نتجت من النجوم والسوبرنوفا. ويكون تواجدها الطبيعي ناتجا من الكميات الناتجة أثناء تلك العمليات الكونية، وأيضا توزيعها في المجرة، ومعدلات إضمحلالها . وبعد الإندماج المبدئي للنظام الشمسي ، توزعت النظائر طبقا لكتلها .شاهد أصل النظام الشمسي. يختلف تركيب نظائر العناصر على كل كوكب ، مما يجعل من الممكن تحديد أصل النيازك.

تطبيقات النظائر:

وكما قال العالم الفرونكو زينوميك و كادار الفونسو بيراز في مأدبة عشاء في ألمانيا فان هناك كثيرا من التطبيقات التي يتم استخدام الخواص المختلفة للنظائر فيها وكذلك هناك عدة إحتمالات فبالتالي هناك عدة نظائر لأي عنصر مهما كان وذلك الإختلاف يكون في عدد النيوترونات.

استخدام الخواص النووية:

تعتمد كثير من تقنيات المطياف على الخواص النووية المتفردة للنظائر . فمثلا" مطياف الرنين النووي المغناطيسي"NMR " يتم استخدامه فقط للنظائر التي لها قيمة دوران غير صفرية . وأكثر النظائر استخداما مع مطياف رنين نووي مغناطيسي H 1، 2D، 13C، . 31P:

مطياف موس باوير يعتمد أيضا على الإنتقالات النووية لنظائر معينة مثل 57. Fe.

كما أن النيوكليدات الإشعاعية لها استخدامات مهمة.نظرا لأن تطوير كل من القوة النووية والأسلحة النووية تتطلب كميات كبيرة من النظائر. كما أن فصل النظائر تمثل تحدي تقني معقد.

رنين نووي مغناطيسي.

رنين نووي مغناطيسي الرنين النووي المغناطيسي Nuclear magnetic resonance أو اختصارا (إن.إم.آر NMR) هي إحدى الظواهر الفيزيائية التي تعتمد على الخواص المغناطيسية الميكانيكية الكمومية لنواة الذرة. الرنين النووي المغناطيسي أيضا يستخدم للدلالة على مجموعة منهجيات و تقنيات علمية تستخدم هذه الظاهرة لدراسة الجزيئات من بنية و تشكيل فراغي.

تعتد الظاهرة أساسا على ان جميع النوى الذرية التي تملك عددا فرديا من البروتونات أو النيوترونات يكون لها عزم مغناطيسي أصلي intrinsic وعزم زاوي .angular momentum أكثر النوى التي تستخدم في هذه التقنيات هي هيدروجين-1 أكثر نظائر الهدروجين توافرا في الطبيعة إضافة إلى الكربون-13 نظير الكربون الطبيعي .نظائر عناصر أخرى يمكن أن تستخدم لكن استخداماتها تبقى أقل.

الفصل الرابع
علم الكيمياء النووية نشأته وتطوره

ماهى الكيمياء ؟

الكيمياء فرع من فروع العلم يختص بدراسة تركيب المواد والتفاعلات التى تحدث بينها وهذا العلم قد تفرع بدوره الى أفرع عديدة منها من أختص بالمواد غير العضويةكالفلزات وغيرها ومنها من أختص بالمواد العضوية مثل السكريات وغيرها ومعتطور علوم التشريح ووظائف الاعضاء فتح ذ لك مجالاً واسعاً لدراسة العملياتالحيوية التى تجرى داخل الجسم فيما يسمى (بالكيمياء الحيوية) التي تختصبدراسة كيمياء الكائنات الحية ، حيث تبحث في تركيب مادتها ، وفي معرفةالنظم الحيوية التي يتكون منها جسم الكائن الحي والتغيرات التي تحدث لهدهالنظم الدقيقة مادام الكائن على قيد الحياة فتنير الطريق للتقدم فيالميادين النختلفة سواء من ناحية التغذية أو النواحي الصحية أو الإستفادة من الموارد الطبيعية سواء نباتية أو حيوانية ، والأهم من ذلك التدبر في خلقالكائن الحي وما وضعه فيه الخالق جل شأنه من نظام دقيق يبين عظمة الخالقوإعجازه في خلقه.

علم الكيمياء وأهميته وتعريفه:

تعريف علم الكيمياء:

كما تعرف أن علم الكيمياء يتعامل مع المواد التي تتكون من عناصر ومركبات وكلهذا المواد لها تركيب وخواص وتفاعلات وتحولات، وتصاحب التفاعلات طاقة ، فنستنتج مما سبق أن علم الكيمياء هو: علم يهتم بدراسة تركيب المادة والتغيرات التي تحدث لها والطاقة المصاحبة لهذه التغيرات.

أهمية علم الكيمياء:

يدخل علم الكيمياء في جميع نشاطات الكائنات الحية ويسهم في كافة مناشط الحياة بواسطة علم الكيمياء تم تحويل المواد الطبيعية الخام إلى مواد تلبي احتياجاتالإنسان، فاستطاع الكيميائي أن ينتج من الفحم والنفط بعض المواد الجديدة كالأصباغ والعقاقير والعطور واللدائن (البلاستيك) والمطاط الصناعي.

ساهمت الكيمياء في المجال الزراعي بواسطة الأسمدة الكيميائية والمبيدات الحشرية أمكن بواسطة علم الكيمياء إنتاج الألياف الصناعية فساهمت في مجال الكساءوالمنسوجات وغير ذلك من المجالات الكثيرة التي تساهم بها الكيمياء طبيعة علم الكيمياء والطريقة العلمية في التفكير الكيميائي يلاحظ الأشياء

ويحاولأن يجيب عن التساؤلات حولها مثل : ما سبب الطعم الحلو للسكر ، لماذا وكيف يصدأ الحديد؟ فهنا قد لاحظ ثم يبدأ بالبحث عن جواب لهذه الملاحظات والتساؤلات ، ولكي يجيب فعليه أن يجرب ويعتمد على التجربة ، لأن علمالكيمياء أكثر العلوم اعتماداً على التجربة وذلك لسببين هما الكيميائي يتعامل مع موجودات لايراها ولا يستطيع إحصاءها مثل الذرات والجزيئات.

القوانين العامة في الكيمياء قابلة للتغير والتعديل:

فهناقد جـرب ومع التجريب تتم عملية تدوين المعلومات عن النتائج التي شاهدها من التجربة ، وبعدها يبدأ بتفسير ما شاهده بوضع الفرضيات ، والفرضية هي: فكرة تنبع من خيال العالم ترتبط بالحقائق والوقائع التي جرت حولها الملاحظات والتجارب فإذا كانت هذه الفرضية صحيحة وتم إختبارها بعدة تجارب لإثبات صحتها وأصبحت النتيجة إيجابية تصبح قانوناً عاماً ، وبعد التفسير تأتي مرحلة نشر النتائج لتعم الفائدة على الجميع.

والآن نستطيع ترتيب الخطوات العلمية في التفكير كما يلي:

الملاحظة.

التجريب.

تدوين المعلومات.

التفسير.

النشر.

المراحل التي مر بها علم الكيمياء.

مرحلة علم الصنعة:

والتي ظهرت فيها خرافة تحويل المعادن الرخيصة إلى معادن ثمينة

مرحلة الكيمياء التي اتجهت إلى الطب: ففي هذه المرحلة تم تحضير العقاقير لشفاء المرضى وقد برز العلماء العرب في ذلك من مثل جابر بن حيان وابن سينا والرازي.

مرحلة نظرية فلوجستون:

التي بدأت في النصف الثاني منالقرن السابع عشر والتي تقول أن الفلوجستون عنصر يساعد المادة على الإشتعالويتحد معها مكوناً أكسيد المادة وأسموه (كالكس) :

معدن + فلوجستون<---- كالكس وقد بقيت النظرية سائدة حتى أتى العالم الفرنسي لافوازيه عام 1778م وأثبت خطأ هذه النظرية عندما سخن الزئبق وبرهن أن عملية الإحتراق عبارة عن اتحاد أكسجين الهواء بالمادة (تأكسد) وليس كما قالت نظرية فلوجستون

المرحلة الرابعة والأخيرة هي علم الكيمياء الحديثة التي بدأت في أواخر القرن الثامن عشر.

دور العلماء المسلمين

في تطوير علم الكيمياء

جابر بن حيان - أبو الكيمياء:

هوجابر بن حيان بن عبدالله ، ولد في عام 102 هجرية (720 ميلادية) وذلك فيقرية طوس في الشمال الشرقي من إيران والتي تبعد 28 كيلومتراً عن مدينة مشهد، وكان أبوه يعيش قبل رحيله إلى طوس في مدينة طرطوس السورية حيث كان يعمل عطاراً

عكف جابر على دراسة علوم الطبيعيات والرياضيات ، ثم رحل إلىالكوفة حيث التقى بالإمام جعفر الصادق - عليه السلام - الذي كان عالماً في الكيمياء والدين أيضاً والذي حدثه عن علم الكيمياء عند اليونان والمصريينوالفرس والهنود والصينيين.

أنشأ لنفسه معملاً في بيته بالكوفة اختبرفيه بنفسه كل ما قاله القدماء من تجارب الكيمياء

ليعرف مدى صحتها ، وكلما وجد نفسه بحاجة إلى جهاز جديد أو آله ، صنع مايحتاجه بيديه حيث كان بالمعمل بيت للنار ، وفي ليلة واحدة سجل جابر أول كشفين له هما الماء الملكي وماءالذهب المستخدم حتى يومنا هذا في طلاء الأوراق والأخشاب.

هو صاحب نظرية أن كل المواد القابلة للاحتراق والمعادن (الفلزات) القابلة للتأكسد تتكون من أصول زئبقية وكبريتية وملحية وهي نظرية الفلوجستون ولم يعرف العالم هذه النظرية إلا بعد جابر بألف عام ، ونظرية الإتحاد الكيميائي التي تقول بأن الاتحاد الكيميائي يحدث باتصال ذرات العناصر المتفاعلة بعضها مع بعض، وهي النظرية التي قال بها (دالتون) بعد جابر بألف عام.

كان كثير القرب منهارون الرشيد والبرامكة وبسبب هذا القرب زعم البعض في زمن جابر وبعد زمانهأن أسراره في الكيمياء من أسباب ثرائهم الفاحش ، وقد ابتكر المواد التيتكفل التغلب على مشاكل الجنود وعبورهم لمياه البحار وقراءة الرسائل فيالليالي المظلمة مما ساعد في انتصارات جنود الرشيد والبرامكة في الفتوحات.

هوالذي حضر حجر الكي أو حجر جهنم (نترات الفضة) لكي الجروح والعضلات الفاسدة ومازال هذا الأمر معروفاً حتى اليوم ، وحضر مداداً مضيئاً من صدأ (بيريت) الحديد ينفع في كتابة المخطوطات الثمينة ورسائل الجيش لتقرأ في الليالي المظلمة ، وحضر طلاء يقي الثياب من البلل، وآخر يقي الحديد من الصدأوثالثاً يقي الخشب من الاحتراق وكانت هذه الطلاءات هي البداية لعلم البلمرات الآن.

اكتشف جابر الورق غير القابل للاحتراق لتكتب عليه الوثائق النفيسة والرسائل المهمة، واكتشف بعد الماء الملكي وماء الذهب وماء الفضة وعنصر البوتاس وملحالنشادر وكبريتيد

الزئبق وحمض الكبريتيك وسلفيد الزئبق وأكسيد الزرنيخوكربونات الرصاص وعنصر الانتيمون وعنصر الصوديوم ويوديد الزئبق وزيت الزاجالنقي ،وكان قد اكتشف من قبل حمض النيتريكوحمض الهيدروكلوريك وتمكن بهما معاً من اكتشاف ماء الذهب .

أوجد جابر طرائق لتقطير الخل المركز (الأستيك أسيد) المعروف الآن باسم الخليك الثلجي وطرائق لصبغ القماش (علم الصباغة) ودباغة الجلود علم الدباغة

وفصلالفضة عن الذهب بحمض النيتريك (علم تركيز الخامات) واستعمل أكسيد المغنسيومفي صناعة الزجاج ، ووصف العمليات الطبيعية الكيميائية وصفاً دقيقاً (تبخير وترشيح وتكثيف وتبلور وإذابة وتصعيد) وسبق العالم كله بأبحاثه في التكليسوإرجاع المعدن إلى أصله بواسطة الأكسجين. وابتكر آله لاستخراج الوزن النوعي للمعادن وللأحجار والسوائل والأجسام التي تذوب في الماء ، وتحدث عن السمومورفع مضارها فوضع بذلك أساس علم السموم.

عاد إلى قريته طوس مع بدء نذرنكبة البرامكة وكان عمره تسعاً وثمانين سنة ، وهناك عكف على العمل والتجربة وتدوين الكتب الكبيرة والصغيرة وبلغ عدد أهمها 45 كتاباً من بينها كتب عن الأحجار والذهب والزئبق والحيوان والأرض ، وكتب في أصول صناعة الكيمياء ما يحمل عناوين : التدابير ، البحث ، التركيب ، الأسرار ، التصريف ،الأصول ، التجميع ، وكتب 112 مقالاً في صناعة الكيمياء منها سبعون مقالاًشرح بها مذهبه في الكيمياء وهي خير ماكتب، ومائة وأربعين مقالاً في علم الموازين.

بعد خمسة قرون من وفاة جابر عن ثلاث وتسعين سنة (في قريته طوس) بدأ الأوروبيون يترجمون مجموعات من كتبه إلى اللاتينية عن اللغة العربية ومن أشهر هذه الكتب : الخالص ، الاستتمام ، الاستيفاء ، التكليس.

ويذكرهو لميارد في كتابه (الكيمياء إلى عصر دالتون) أن ترجمة مؤلفات جابر إلى اللاتينية كانت عاملاً قوياً في إحياء الكيمياء في أوروبا ، ولم يحدث أنحظيت كتب بالشهرة والذيوع في العصور الوسطى مثلما حظيت به كتب جابر بن حيان، فقد أصبحت كتبه أساساً لعلم الكيمياء في أوروبا إلى نهاية القرن الثامن عشر وبسبب أبحاثه الدقيقة الشامله استحق جابر لقب المؤسس الأول للكيمياءعلى قواعد علمية سليمة وأسس راسخة.

الطاقه النووية:

الطاقه النوويه او الطاقه الذريه هي الطاقه التي تتحرر عندما تتحول ذرات عنصر كيمائي الى ذرات عنصر اخر، الذرات هي اصغر الجسيمات التي يمكن ان يتفتت اليها أي شيء كان. وعندما تنفلق ذرات عنصر ثقيل الى ذرات عنصرين اخف ، فان التحول يسمى "انشطارا نوويا " ويمكن ان يكون التحول " اندماجا نوويا " عندما تتحدد اجزاء ذرتين.

يعول على الطاقه النوويه ان تصبح اعظم مصادر الطاقه في العالم بالنسبه للاضاءه والتسخين وتشغيل المصانع وتسيير السفن وغير ذلك من الاستخدمات التي لا حصر لها. من

ناحية اخرى ، يخاف بعض الناس الطاقه النوويه لانها تستخدم ايضاً في صنع اعظم القنابل والاسلحه فظاعة وتدميرا في تاريخ العالم . كما ان بعض نواتج عمليه الانشطار تكون سامه للغايه.

انتاج الطاقه النووية:

اليورانيوم والبلوتونيوم هما العنصران المستخدمان في انتاج الطاقه بواسطة الانشطار النووي. كل ذرة من ذرات اليورانيوم او البوتونيوم (او أي عنصر اخر) لها " نواة " عند مركزها تتكون من " بروتونات " و "نيوترونات ".

الانشطارالنووي:

عندما يتصادم نيوترون سائب مع ذرة يورانيوم او بلوتونيوم فان نواة الذرة " تأسر " النيوترون.

عندئذ تنفلق النواه الى جزئين ، مطلقه كميه هائله من الطاقه كما انها تحررنيوترونين او ثلاثه تتصادم هذه النيوترونات مع ذرات اخرى ويحدث نفس الانشطار في كل مره، وهو ما يسمى بالتفاعل المتسلسل.

ملايين الملايين من الانشطارات يمكن ان تحدث في جزء من المليون من الثانيه . وهذا هو ما يحدث عندما تنفجر قنبله ذريه وعندما تنتج الطاقه النوويه للاغراض السلميه العاديه فانه يلزم ابطاء التفاعل المتسلسل .

ولانتاج الطاقه للاغراض العاديه تحدث الانشطارات في اله تسمى المفاعل النووي او الفرن الذري . يتم التحكم في سرعة الانشطارات بطرق مختلفه في احدى الطرق تستخدم قضبان التحكم التي تقصى بعض النيوترونات بعيدا عن التفاعل.

كيف نعيش الاندماج النووي:

هذا ايضاً يسمى التفاعل النووي الحراري لانه يحدث فقط عند درجات حرارة عاليه جداً . وهو عكس الانشطار النووي . حيث تنصهر (تتحد) معا نواتان خفيفتان لتكونا نواة اثقل.

تأتي الطاقه الشمسيه الهائله من الاندماج النووي ، اذا تنصهر انوية ذرات الهيدروجين الخفيفه لتكون ذرات الهيليوم الاثقل. تنطلق اثناء ذلك كميات هائله من الطاقه في صوره حراره.

الاندماج النوويه والذي ينتج الطاقه المدمره للقنبله الهيدروجنيه . ومع ذلك ، يمكن للاندماج النووي في المستقبل ان يكون احد اعظم المصادر الثمينه للطاقه السليمه لانه يمكنه استخدام مياه البحار البحيرات والنهار في انتاج القوى النوويه.

استخدام الطاقه النووية:

تستخدم الطاقه النوويه الان في اغراض كثيره ، فهي تولد الكهرباء وتسير السفن وتستخدم في المصانع والمستشفيات.

الكهرباء: تنتج محطات توليد القوى النوويه بعض الكهرباء التي يستخدمها الناس كليوم . يوجد في كل محطه مفاعل نووي يتم فيه الانشطار النووي الذي يحررالطاقه في صورة حراره . تمرر هذه الحراره الى غاز او سائل يسمى المبرد . وينتقل المبرد الى مبادل حراري حيث يسخن الماءويحوله الى بخار . عندئذيستخدم البخار في تشغيل توربين ويسير التوربين مولد للكهرباء.

استخدامات اخرى : تستخدم التوربينات التي تعمل بالانشطار النووي كذلك في تسيير السفنوالغواصات . ونظرا لان المفاعلات النوويه لا تحتاج الى اكسجين ، فانالغواصات النوويه يمكنها البقاء تحت الماء لفترات زمنيه طويله.

هناك انواع معينه من الذرات الناتجه اثناء الانشطار النووي تساعد الاطباء فيتشخيص (التعرف على) الامراض ومكافحتها . تسمى هذه الذرات النظائر المشعه، وهي ذات استخدامات اخرى كثيره في الصناعه والزراعه.

أنواع التفاعلات النووية:

يمكن تقسيم التفاعلات النووية الى أربعة أقسام وهي:

التحلل النووي التلقائي.

التفاعل النووي غير التلقائي.

لانشطار النووي.

الاندماج النووي.

التحلل النووي التلقائي:

تتحلل أنوية العناصر الثقيلة غير المستقرة تلقائياً وتصدر عنها اشعاعات تعرف بالاشعاعات النووية.

ومن العناصر التي تجري هذا النوع من التفاعلات عنصر اليورانيوم (يورانيوم) i238i – ، فقد تبين أنه يشع جسيمات الفا ، ونتيجة لذلك يتحول الى عنصر آخر مشع هو عنصر الثوريوم (ثوريوم) i234i – ، الذي بدوره يطلق جسيمات بيتا مع اشعاع غاما ويتحول الى عنصر البروتاكتينيوم (بروتاكتينيوم) i234i – ، وتستمر التحولات الى أن ينتج عنصر الرصاص غير المشع ، فأنوية ذراته مستقرة.

التفاعل النووي غير التلقائي:

في هذا النوع من التفاعلات تستخدم الجسيمات النووية كقذائف تسلط على أنوية ذرات مستقرة فتحولها الى أنوية غير مستقرة ، وتتكون بفعل ذلك ذرات جديدة.

ومن أمثلة هذا النوع من التفاعلات قذف ذرات البريليوم بجسيمات الفا وينتج بفعل ذلك عنصر الكربون.

وقد تمكن العلماء من استخدام هذا النوع من التفاعلات النووية لتحضير عناصر ثقيلة من عناصر أخف منها.

ومن الأمثلة على ذلك تحويل الألومنيوم الى نظير الفسفور.

الانشطار النووي:

نظراً لقدرة النيوترونات على الاختراق ، فهي أجسام غير مشحونة فقد استخدمتك قذائف يمكن أن تصل الى النواة بسهولة فتندمج معها أو تشطرها وقد قام العلماء بتسليط النيوترونات على ذرات عنصر اليورانيوم (يورانيوم) i235i – واكتشفوا أن ذرة اليورانيوم تنشطر الى جزأين ، وينتج عن ذلك ايضاً ثلاثة نيوترونات وكمية هائلة من الطاقة.

وكل نيوترون له القدرة على أن يكررالتفاعل السابق مع ذرة يورانيوم أخرى ، وهذا ما يعرف بالتفاعل النووي المتسلسل الذي يؤدي الى أعداد هائلة من الانشطارات ، وينتج عن ذلك كميات هائلة من الطاقة.

استرعى هذا التفاعل اهتمام العسكريين وتمكنوا من خلاله من صنع القنبلة النووية ، كما أن هذا التفاعل يستخدم للحصول على الطاقة الكهربائية في المحطات الكهرنووية.

الاندماج النووي:

يشتمل هذا التفاعل على اندماج نواتين خفيفتين لانتاج نواة أكبر.

ومثال ذلك اندماج ذرات نظائر الهيدروجين لاعطاء ذرات هيليوم وكمية هائلة من الطاقة.

ورغم اعطاء هذا التفاعل كمية هائلة من الطاقة ، الا أنه لا يبدأ الا اذا زود بطاقة عالية للتغلب على التنافر الشديد بين أنوية الذرات التي ستندمج ، ومثل هذه الطاقة لا يتم توفيرها الا من خلال تفاعل انشطار نووي.

ويعتقد أن هذا التفاعل هو المسؤول عن الطاقة المنبعثه من الشمس.

الانشطار النووي/ الاندماج النووي:

الانشطار Fission القنبلة الذرية (A-Bomb) والاندماج Fusion القنبلة الهيدروجينية (H-Bomb) هناك نوعين من الانجارات الذرية يمكن أن إنجازها بواسطةاليورانيوم 235 "U-235" وهي الانشطار والاندماج

الانشطار ببساطة هو التفاعل النووي الذي فيه تنقسم نواة الذرة إلى شظايا، وعادةتكون إثنتين ذات كتل متساوية، مع نشوء حوالي 100 مليون إلى عدة مئات منملايين فولتات الطاقة. هذه الطاقة تنقذف متفجرة وبعنف شديد في القنبلة الذرية.

الإندماج هو تفاعل يبدأ بثبات بتفاعل إنشطاري، ولكن بخلاف الإنشطار الذري فإن الإندماج (القنبلة الهيدروجينية) تستمد قوتها من اندماج أنوية النظائر المختلفة للهيدروجين لتكوين نواة هيليوم. وكون القنبلة فيهذا القسم هي بالتحديد ذرية، فإن المكونات الأخرى من القنبلة الهيدروجينية ستكون موضوعة جانبا في هذا الوقت.

إن القوة الهائلة خلف التفاعل في القنبلة الذرية ينتج من القوى التي تجعل الذرة متماسكة مع بعضها. هذه القوى مماثلة ولكن ليست تماما للمغناطيسية.

الذرات تتألف من ثلاث أجزاء أقل .البروتونات وكلستر النيوترونات معا تكونان النواة (الكتلة المركزية) الخاصة بالذرة، بينما الإلكترونات تدور حول النواة، وهي تشبة في ذلك الكواكب حولالشمس. إن هذه المكونات هي التي تحدد الثبات في الذرة.

إن معظم عناصرالطبيعة لها ذرات ذات ثبات كبير، وبالتالي فإنه من المستحيل أن تنقسم إلابواسطة قصفها بواسطة الجزيئات الحافزة. ولجميع الأغراض العملية، فإن العنصرالحقيقي الذي يمكن لذرته أن تنشطر بتساو وسهولة هو معدن اليورانيوم. ذرات اليورانيوم على غير العادة كبيرة الحجم، ولهذا السبب فإن من الصعب عليها أن تبقى معا بثبات. وها يجعل اليورانيوم 235 هو الشئء المناسب تمام اللإنشطار النووي.

اليورانيوم معدن ثقيل وهو أثقل من الذهب، وليس فقط له أكبر الذرات حجما منأي معدن طبيعي آخر، فأيضا الذرات التي يتكون منها اليورانيوم بها نيوترونات أكثر بكثير من البروتونات. وهذا لا يحفز قدرته اللإنشطار ولكن يعطيها احتمالا أكثر أهمية في قدرتها لتسهيل الإنفجار.

هناك نظيرين لليورانيوم. إن اليورانيوم الطبيعي يتكون غالبا من النظير 238، والذي به 92 بروتون و146 نيوترون "92+146=238". وتجد ممزوجا مع هذا النظير نسبة 0،6% من اليورانيوم نوع نظير 235، والمحتوي فقط على 143 نيوترونا. هذا النظير، بخلاف اليورانيوم 238 له ذرات يمكن أن تنشطر، ولهذا يطلق عليه مصطلح قابل للإنشطار، ومفيد في صنع القنابل الذرية. وحيث أن اليورانيوم U-238 هو ذو النيوترون الثقيل، فإن ذلك يعكس النيوترونات بدلا أن يمتصها مثل ما يفعل أخيه النظير .U-235 اليورانيوم من نوعU-238 لا يخدم أي عمل فيمهمات التفاعل الذري، ولكن خصائصه تجعله يزودنا بغلاف واقي ممتازلليورانيوم U-235 وذلك عند إنشاء القنبلة كعاكس للنيوترونات. وهذا يساعد فيالوقاية من تصادف حدوث سلسلة تفاعل بين اليورانيوم 235 ذو الكتلة الأكبر ورصاصتها المتممة لها داخل القنبلة.

لاحظ أيضا أنه بينما اليورانيوم 238 لا يخدم التفاعل المتسلسل، فإنه يمكن أن يكون المادة المشبعة بالنيوترونات لإنتاج البلوتونيوم .(Pu-239) والبلوتونيوم مادة قابلة للإنشطار ويمكن أن تستعمل في مكان اليورانيوم 235 (وإن يكن مع نوعآخر من المفجرات) في القنبلة الذرية.

إن كل من نوعي اليورانيوم مشعبطبيعته. وذراتهما الثقيلة تتحلل على مدى فترة زمنية. وإذا ما أعطيا فترة كافية من الزمن . (أكثر بكثير

جدا من مئات الألوف من السنين) فإن اليورانيوم في الواقع يفقد أجزاء كثيرة منه للدرجة أنه سيتحول إلى معدن آخرهو الرصاص. ومع ذلك فإن عملية الإنحلال يمكن تسريعها بالعملية المعروفة بإسم التفاعل التسلسلي .chain reaction الذرات تجبر على الإنشطار بواسطةالنيوترونات التي تأخذ طريقها بقوة إلى النواة. إن ذرة اليورانيوم 235 تكون غير مستقرة لدرجة أن صدمة من نيوترون واحد كاف لأن يقسمها وبالتالي يتسببفي حدوث التفاعل المتسلسل (بسبب تحرر نيوترونات أكثر) وهذا يمكن أن يحدث حتى عندما (نسبيا أقل) تتواجد كتل حرجة.

عندما يحدث هذا التفاعل المتسلسل، فإن ذرة اليورانيوم تنشطر إلى ذرتين أصغر من عناصر مختلفة مثل الباريوم والكريبتون.

عندما تنقسم ذرة اليورانيوم 235، فإنه ينتج عنها طاقة بشكل حرارة وإشعاع من نوع جاما، والذي يعتبر هو أقوى شكل من أشكال الإشعاع وأكثرها إماتة. وعندما يحدث هذا التفاعل، فإن الذرة المنقسمة ستعطي أيضا أثنين أو ثلاثة مننيوتروناتها "الزائدة"، والتي لا يحتاج إليها لعمل الباريوم أو الكريبتون .

هذه النيوترونات الزائدة تطير خارجا بقوة كافية كي تشطر ذرات أخرى تصادفهافي طريقها. ونظريا فإنه من الضروري القيام بشطر ذرة يورانيوم واحدة كي تقوم النيوترونات المنفصلة منها بشطر الذرات الأخرى، والتي هي بالتالي تخرج منها نيوترونات لشطر ذرات أخرى وهكذا. إنهذه المتوالية لا تتم في الواقع حسابيا ولكن بتوال هندسي.

إن كل هذا سيحدث خلال جزء من مليون من الثانية.

إن أقل كمية كي تبدا التفاعل المتسلسل كما تم وصفه يعرف بالكتلة الحرجة العظمى .Supercritical Mass والكتلة الفعلية التي يحتاج إليها لتسهيل هذا التفاعل المتسلسل تعتمد على نقاوة المادة، ولكن بالنسبة لليورانيوم 235 النقي فإن هناك حاجة لخمسون كيلوجراما، ولكن لأنه لا يوجد يورانيوم نقي للغاية ولهذا ففي الواقع هناك حاجة لكمية أكبر.

الأحمــاض النووية Nucleic Acid :

أحماض النيوكليك أو الأحماض النووية هي عبارة عن جزيئات جسيمة توجد في جميع الخلايا الحية في صورة طليقة أو متحدة مع البروتين، وبدأ علماء (الكيمياء الحيوية) أبحاثهم على الأحماض النووية منذ حوالي مائة عام مضت حين إستطاعوا فصلها من أنوية الخلايا فالأحماض النووية توجد في كل الخلايا الحية حيث أنها ليست فقط مسؤولة عن حمل وانتقال

التعليمات الجينية (الصفات الوراثية) ولكنها تتحكم أيضاً في ترجمة هذه التعليمات عند تكوين البروتينات المختلفة بالخلايا وذلك بتحكمها في ترتيب وتتابع الأحماض الأمينية لكل بروتين يتكون بكل خلية والأحماض النووية لها وزن جزيئي مرتفع وهي عبارة عن نيوكلتيدات (بولي نيوكلتيدات) وحداتها البنائية هي النيوكلتيدات. وكانت الدراسات الكيميائية في بادئ الأمر تجري على أحماض النيوكليك من مصدرين: أحدهما الخميرة،ووجد أنها تحتوي على سكر ريبوز ولذلك سميت بأحماض الريبو نيوكليك (RNA) والثاني من الغدة التيموسية بالعجول ووجد أنها تحتوي على سكر دي – أوكسي – ريبوز ،

ولذلك سميت بأحماض الدي - أوكسي - ريبونيوكليك (DNA) مما أدى إلى الإعتقاد لبعض الوقت بأن الحمض الأول خاص بالنباتات والثاني خاص بالحيوانات ، ثم اتضح أن (DNA) موجود بالنواة وأن (RNA) موجود في السيتوبلازم. ونتيجة للدراسات الحديثة بطرق التحليل المحسنة أمكن العثورعلى كميات صغيرة من (DNA) في السبحيات والبلاستيدات الخضراء كما أمكن التعرف على (RNA) في النواة متصلاً بالنوية.

وعند معاملة حمض النيوكليك المستخلص من الخميرة بمحلول عياري من الصودا الكاوية يتحلل مائياً إلى مركبات يطلق عليها (نيوكلتيدات) وبمعاملة هذه الأخيرة بحمض هيدروكلوريك تتحلل مائياً إلى مكوناتها الثلاث الرئيسية وهي : قاعدة نيتروجينية - وسكرخماسي - وحمض فسفوريك.

أنواع الأحمـاض النوويةKinds of Nucleic Acid :

يوجد نوعين من الأحماض النووية كما تقدم..هما:

أ/ الحمض الرايبونيوكلتيدي (RNA) Ribonucleic Acid

ب/ الحمض الديؤكسي رايبونيوكلتيدي(DNA) Deoxyribonucleic Acid

ويتكون البناء الأساسي لهده الأحماض من سلاسل بها جزيئات حمض فسفوريك وسكر بالتبادل ويتصل بكل جزيء من جزيئات السكر قاعدة آزوتية إما من نوع البيورين أو البيرميدين ، والسكر الموجود بجزيء الحمض الرايبونيوكلتيدي (RNA) هو سكر الرايبوز بينما في جزيء الحمض الديؤكسي رايبونيوكلتيدي (DNA) فهو سكرالديؤكسي رايبوز.

مكونات أحماض النيوكليك:

يتكون حمض نيوكليك من ثلاثة أنوع من المركبات كما ذكرنا:

- حمض الفسفوريك.
- سكر خماسي الكربون وهو سكر الرايبوز أو دي - أوكسي - رايبوز.
- وقواعد نيتروجينية تتبع البيورينات أو البيرميدينات

يوجد بأحماض النيوكليك نوعان من السكر الخماسي ، أحدهما هو D - رايبوز ويوجد فيحمض (RNA) ، والثاني ديؤكسي رايبوز ويوجد في حمض (DNA) ، وأعطيت ذراتكربون السكر الخماسي الأرقام التالية َ1، َ2، َ3، َ4 ،5َ لتمييزها عن الأرقام المعطاة لذرات الكربون والنيتروجين الموجودة في البيرميدين والبيورين.

ومن الخصائص الهامة للسكر الخماسي هو قدرة المجاميع الهيدروكسيلية على تكوين إسترات مع حمض الفسفوريك وخاصة تلك المجاميع الموجودة على الكربون الثالث والكربون الخامس.

البيورينات والبيرميديناتPruines & Pyrimidine

1/ قواعد بيورينية : وتنتج من التحام حلقة إيميدازول الخماسية مع حلقة البيرميدين وأهم هذه القواعد.

- **أدينين Adenine .**
- **جوانين Guanine .**

2/ قواعد بيرميدينية : وهذه القواعد مشتقة من البيرميدين بإستبدال ذرات الهيدروجين الموجودة على كربون رقم 2،4،5 بمجاميع أمينو أوهيدروكسيل أوميثايل وأهم هذه القواعد:

- **سيتوزينCytosine .**
- **يوراسيلUracil .**
- **ثايمين Thymine .**

ويحتوي كلاً من الحمضيين النوويين DNA و RNA على القاعدتين الآزوتيتين من البيورين وهما الأدينين Adenine والجوانين Guanine ونجد أيضاً أن كلاً من الحمضيين النوويين DNA و RNA يحتوي على قاعدة آزوتية من نوع البيرميدين وهيسايتوزين Cytosine ولكنهما يختلفان في القاعدة الآزوتية الثانية من نوع البيرميدين فبينما يحتوي الحمض النووي RNA على القاعدة الآزوتية يوراسيل Uracil يحتوي الحمض النووي DNA على القاعدة الآزوتية ثايمين Thymine.

مجموعة الفوسفاتPhosphate Group

تربط مجموعة الفوسفات بين مجموعات السكر الخماسية في سلاسل كل من الحمضين (DNA) و(RNA).

النيوكليوزيداتNucleosides

النيوكليوزيدات هي مركبات ناتجة من اتحاد أحد جزيئات القواعد الآزوتية من نوع البيورين أو البيرميدين مع جزيء السكر بيتا- رايبوز أو بيتا- ديؤكسي رايبوز برابطة جليوكسيدية (بيتا) ، وفيها تتصل القاعدة الآزوتية مع مجموعة هيدروكسيل هيميأسيتال على ذرة الكربون الأولى للسكر. ومكان اتصال القاعدة الآزوتية بالسكر

النيوكليتيداتNucleotides

النيوكليتيدات هي إسترات حمض الفوسفوريك للنيوكلوزيدات وهناك واحد من أهم النيوكليتيدات الموجودة طبيعياً وهو الأدوينوسين أحادي الفوسفات وهذا المركب (AMP) مع إثنين من مشتقاته وهما أدينوسين ثنائي الفوسفات(ADP) وأدينوسين ثلاثي الفوسفات(ATP) يلعب دوراً هاماً في حفظ الطاقة وفي الإستفادة من الطاقة المنطلقة خلال عمليات التمثيل الغذائي بالخلايا والأهمية الفسيولوجية لهذه المركبات تكمن في قدرتها على إعطاء وإكتساب مجموعات فوسفاتية في التفاعلات البيوكيميائية . وتسمى النيوكليوز يدات والنيوكليتيدات تبعاً للقاعدة النيتروجينية الموجوده بها.

فصل الأحماض النوويةIsolation Of Nucleic Acid

تطحن الأنسجة المراد إستخلاص الأحماض النووية منها على درجة حرارة منخفضة (أقل من40 درجة م) وذلك بعد إضافة محلول مائي للفينول المركز وصوديوم لورايلسلفات (أو أي مادة اخرى مناسبة لتقليل الجذب السطحي) إليها . بعد هذه المعاملة يتغير التركيب الطبيعي للبروتينات الموجودة بالأنسجة

وتصبح غيرذائبة في المحلول المائي وترسب بينما نجد أن الأحماض النووية تظل ذائبة في المحلول المائي. وبترك المطحون المتجانس الناتج ينفصل إلى طبقتين سائلتين ويمكن الإسراع بفصل الطبقتين بإجراء عملية طرد مركزي على درجة حرارة منخفضة.

حيث يتم بعدها فصل الطبقة العليا المائية (والمحتوية على الأحماض النووية جميعها) عن الطبقة السفلى الأخرى الغنية بالفينول والتي يستغنى عنها.

ترسب الأحماض النووية من الطبقة المائية المفصولة وذلك بإضافة كحول الإيثايل اليها بعد ذلك يفصل الراسب المتكون بواسطة الطرد المركزي . وتنقى الأحماض النووية به بإذابته في الماء ثم إعادة ترسيبه بالكحول كما سبق وفصله بالطرد المركزي على صورة نقية.

ويمكن فصل كل من الحمضينالنووين DNA و RNA كل على حدة بعد ذلك إما بمعاملته بإنزيم ريبونيوكليز(Ribonucleasa) وذلك لتكسير الحمض النووي RNA وتحويله إلى جزيئات صغيرهذائبة مع ترك الحمض النووي DNA كما هو بدون التأثير عليه .

أو بمعاملة الخليط بإنزيم ديؤكسي ريبونيوكليز(Deoxyribonuclease) حيث تتكسر جزيئات الحمض النووي DNA تاركاً الحمض النووي RNA بدون تأثر .

وبعد التخلص من أحد الحمضين النوويين يضاف محلول مائي للفينول وذلك لترسيب وإزالة ما تبقى منبروتين ثم تفصل الطبقة المائية المحتوية على الحمض النووي المراد الحصول عليه بالطرد المركزي حيث بضاف لها بعد ذلك كحول الإيثايل لترسيب الحمضالنووي.

وحيث أن الحمض النووي DNA على صورته الطبيعية عبارة عن لولب حلزوني طويل فإن إضافة كحول الإيثايل إليه ينتج عنه ترسيب DNA على هيئة راسب طويل ليفي حيث يمكن الحصول عليه من المحلول بلفه حول محرك زجاجي حيث يوضع بعد ذلك في مذيب مناسب مثل الأسيتون لتجفيفه حيث يسهل إزالته جافاً عن المحرك الزجاجي ويحفظ جافاً في زجاجات على درجة حرارة – 20 درجة م.

وعند استخدام الطريقة السابقه للحصول على الحمض النووي RNA فإننا نحصل على خليط غير متجانس من الأنواع المختلفة للحمض النووي الرايبونيوكلتيدي RNA .

وهوالحمض النووي الناقل tRNA والحمض النووي الرسول mRNA والحمض النوويا لرايبوسومي . rRNA ولإجراء فصل لكل نوع في هذا الخليط عن الآخر يستخدملذلك الفصل الكروماتوجرافي على أعمدة من الكيز لجهر المغطى بطبقة من ميثايل الألبومين (MAK) أو بالطرد المركزي على محلول سكروز متدرج التركيز (Sucrose Gradient)وبإستعمال هذه الطرق يفصل الخليط الى مكونات تبعاً لنوع النسيج الذي استخلصت منه.

فإذا كان من البكتيريا E.coli مثلاً فإن الخليط سيفصل الى ثلاث مكونات ، المكون الأول هو 4S (tRNA) والثاني 16 S والثالث (*)23S وذلك من الحمض النووي RNAوالذي نتج من الرايبوزومات 70 Sبالبكتيريا بعد أن انقسمت وحداتها الريبوزومية 30 Sو 50 . S بينما في حالة فصل الحمض النوويRNA المفصول من أنسجة الثدييات نحصل على نوعين أحدهما 18 - 22 S والآخر 28 - 34 S وهذه نتجت من أنواع الرايبوزومات 80 S بعد أن انقسمت وحداتها الرايبوزومية 40 S و60. S

خواص الأحماض النوويةProperties Of Nucleic Acid :

تمتص القواعد الآزوتية من نوع البيورين والبيرميدين الموجودة في الأحماض النووية الأشعة الفوق بنفسجية بدرجة كبيرة عند موجة ذات طول 260 نانوميتر 260)

. (nmوتستخدم هذه الخاصية لتقدير هذه القواعد الآزوتية كمياً

لتقديرنيوكليتيداتها وأيضاً الأحماض النووية الداخلة بتركيبها.

وعلى كل حالفان الحمض النووي DNA له معامل امتصاص نوعي عند طول الموجة 260 نانومتيريقل بمقدار حوالي 35 – 40 % عن معامل الامتصاص النوعي المتوقع من حاصل جمعالامتصاص لك قاعدة (على حدة) من القواعد الداخلة بتركيب الحمض النووي . DNA وهذه النظرية تمسى بنظرية التاثير الهيبوكرومي)

. (Hypochromicوهاالانخفاض في درجة

الامتصاص النوعي للاشعة فوق البنفسجية بالنسبة للقواعد الازوتية المتحدة بجزيئات الحمض النووي DNA عن نظيراتها القواعد الحرة نتيجة لتكون روابط هيدروجينية بين القواعد الازوتية المتراكبة الواحد فوق الأخرى في كل من السلسلتين الحلزونيتين للحمض النوويDNA. وهذه الخاصية مفيدة في تقرير درجة الحلزونية (Helicity)للحمض النووي. DNA

وعند تسخين الحمض النووي DNA المبلمر بدرجة كبيرة ببطء فان السلسلتين حلزونيتي الشكل به تبتعدان عن بعضهما وتسمى عملية الابتعاد هذه بعملية انفصال اوتشتيت السلسلتين .(Melting) وهذا التحول من الشكل الحلزوني ذو السلسلتينالى أي شكل عشوائي يحدث خلال رفع درجة الحرارة عدداً قليلاً من الدرجات ونتيجة لهذا التحول تزداد درجة الامتصاص النوعي.

وتسمى درجة الحرارة التي يحدث عندها الزيادة المفاجئة في الامتصاص للأشعة فوق البنفسجية بدرجة حرارة الانفصال (Melting temperature Tm) للحمض النووي.

ولكل نوع من انواع الحمض النووي DNA درجة Tm خاصة به . اما عند اعادة تبريد المحلول ببطء فانه يحدث اعادة لتكوين الشكل الحلزوني ذو السلستين معا مكانية حدوث تبادل بين السلاسل وتسمى ههذه العملية Annealing .

ويلاحظ أن السلسلتين المكونتين للشكل الحلزوني في الحمض النووي DNA متوازيتان ولكنهما معكوستان (Ant parallel) والقواعد الازوتية بهما مزدوجة) (Pairedبنظام A مع T و G مع c وهذا التخصص في الازدواج يعتمد على الروابطالهيدروجينية بين القواعد الازوتية فنجد ثلاثة روابط هيدروجينية لكل زوج G - Cورابطتين هيدروجينيتين لكل زوج. A – T

ويمكن تشتيت سلسلتي الحمض النووي DNA عن بعضهما إذا انخفض رقم pH المحلول عن 4 او اذا ارتفع عن 11 . حيث أن الأحماض النووية عبارة عن الكتروليتات عديدة (Polyelectrolyte's) مع وجود شحنة سالبة واحدة لكل وحدة نيوكليوتيدية (هذه الشحنة ناتجة عنتاين الفوسفات ثنائي الاستر) في نطاق pHمن 4 الى 11 . بينما عند pH اقل من 4 نجد ان المجموعات الامينية لقواعد الادنين والجوانين والسيتوزين تكتسب بروتوناً مع تحطم نظم الروابط الهيدروجينية . اما عند pH اعلى من 11 فانبروتونات مجموعات الهيدروكسيل على الجوانين والسيتوزين والثايمين (الناتجة من التغيرات الكيتونية الاينولية) Keto – enol tautomers تنفصل مع تحطم الروابط الهيدروجينية.

أما بالنسبة لتأثير الحرارة على الحمض النووي RNA نجد أن الوضع يختلف لان الحمض النووي RNA المستخلص من معظم المصادر يكون ذو سلسلة مفردة) (Single – Stranded مع وجود أماكن قصيرة بهاطيات على نفس السلسلة مكونة أماكن بها ازدواجيات بالسلسلة (Double – Stranded regions) لذا فان شكل المنحنى الخاص بتأثير الحرارة على درجة امتصاصه للضوء فوق البنفسجي) (Melting profile يتميز بزيادة قليلة في

الامتصاص عند زيادة الحرارة وهذه الزيادة تكون غير حادة . ويجدر بالذكر أن الصفات الجينية في عدد قليل من أنواع الفيروسات تحمل على الحمض النووي RNAذو السلسلتين مزدوجتينوان نظام ازدواج القواعد الازوتية به G – C و A – U .

ماهية الكيمياء الأساسية:

الكيمياء فرع من فروع العلم يختص بدراسة تركيب المواد والتفاعلات التى تحدث بينها وهذا العلم قد تفرع بدوره الى أفرع عديدة منها من أختص بالمواد غير العضوية كالفلزات وغيرها ومنها من أختصب المواد العضوية مثل السكريات وغيرها ومع تطور علوم التشريح ووظائف الاعضاء فتح ذلك مجالاً واسعاً لدراسة العمليات الحيوية التى تجرى داخل الجسم فيما يسمى (بالكيمياء الحيوية) التي تختص بدراسة كيمياء الكائنات الحية ، حيث تبحث في تركيب مادتها ، وفي معرفة النظم الحيوية التي يتكون منها جسم الكائن الحي والتغيرات التي تحدث لهده النظم الدقيقة مادام الكائن على قيد الحياة فتنير الطريق للتقدم في الميادين النختلفة سواء من ناحية التغذية أو النواحي الصحية أو الإستفادة من الموارد الطبيعية سواء نباتية أو حيوانية ، والأهم من ذلك التدبر في خلق الكائن الحي وما وضعه فيه الخالق جل شأنه من نظام دقيق يبين عظمة الخالق وإعجازه في خلقه.

الأحماض النووية Nucleic Acid:

أحماض النيو كليك أو الأحماض النووية هي عبارة عن جزيئات جسيمة توجد في جميع الخلايا الحية في صورة طليقة أو متحدة مع البروتين، وبدأ علماء (الكيمياء الحيوية) أبحاثهم على الأحماض النووية منذ حوالي مائة عام مضت حين إستطاعوا فصلها من أنوية الخلايا فالأحماض النووية توجد في كل الخلايا الحية حيث أنها ليست فقط مسؤولة عن حمل وانتقال التعليمات الجينية (الصفات الوراثية) ولكنها تتحكم أيضاً في ترجمة هذه التعليمات عند تكوين البروتينات المختلفة بالخلايا وذلك بتحكمها في ترتيب وتتابع الأحماض الأمينية لكل بروتين يتكون بكل خلية والأحماض النووية لها وزن جزيئي مرتفع وهي عبارة عن نيوكلتيدات (بولي نيوكلتيدات) وحداتها البنائية هي النيوكلتيدات.

وكانت الدراسات الكيميائية في بادئ الأمر تجري على أحماض النيوكليك من مصدرين : أحدهما الخميرة، ووجد أنها تحتوي على سكر ريبوز ولذلك سميت بأحماض الريبو نيوكليك (RNA) والثاني من الغدة التيموسية بالعجول

ووجد أنها تحتوي على سكر دي – أوكسي – ريبوز ، ولذلك سميت بأحماض الدي – أوكسي – ريبونيوكليك (DNA) مما أدى إلى الإعتقاد لبعض الوقت بأن الحمض الأول خاص بالنباتات والثاني خاص بالحيوانات ، ثم اتضح أن (DNA) موجود بالنواة وأن(RNA) موجود في السيتوبلازم. ونتيجة للدراسات الحديثة بطرق التحليل المحسنة أمكن العثور على كميات صغيرة من (DNA) في السبحيات والبلاستيدات

الخضراء كما أمكن التعرف على (RNA) في النواة متصلاً بالنوية.

وعند معاملة حمض النيوكليك المستخلص من الخميرة بمحلول عياري من الصودا الكاوية يتحلل مائياً إلى مركبات يطلق عليها (نيوكلتيدات) وبمعاملة هذه الأخيرة بحمض هيدروكلوريك تتحلل مائياً إلى مكوناتها الثلاث الرئيسية وهي : قاعدة نيتروجينية – وسكر خماسي – وحمض فسفوريك .

أنواع الأحماض النووية Kinds of Nucleic Acid

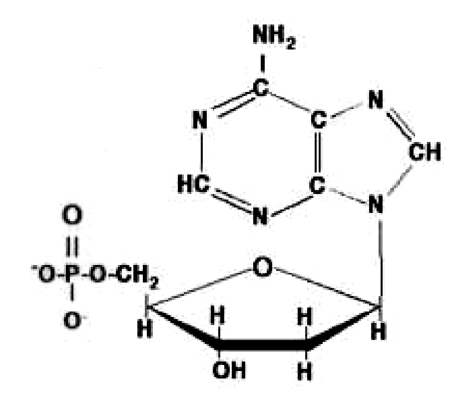
يوجد نوعين من الأحماض النووية كما تقدم..هما:

أ/ الحمض الرايبونيوكلتيدي Ribonucleic Acid (RNA)

ب/ الحمض الديؤكسي رايبونيوكلتيدي Deoxyribonucleic Acid (DNA)

ويتكون البناء الأساسي لهده الأحماض من سلاسل بها جزيئات حمض فسفوريك وسكر بالتبادل ويتصل بكل جزيء من جزيئات السكر قاعدة آزوتية إما من نوع البيورين أو البيرميدين ، والسكر الموجود بجزيء الحمض الرايبونيوكلتيدي (RNA) هو سكر الرايبوز بينما في جزيء الحمض الديؤكسي رايبونيوكلتيدي (DNA) فهو سكر الديؤكسي رايبوز....شكل (1) ، شكل (2)

شكل (1) يوضح هيكل بناء الـ(DNA)



شكل (2) يوضح هيكل بناء الـ (DNA) أو الـ(RNA)

مكونات أحماض النيوكليك :

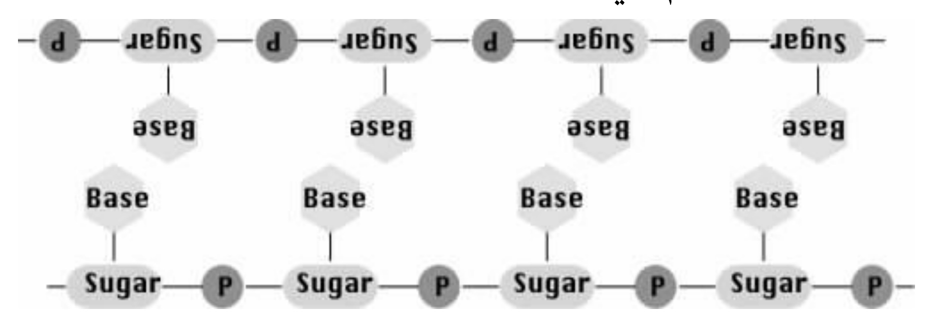
يتكون حمض نيوكليك من ثلاثة أنوع من المركبات كما ذكرنا:

حمض الفسفوريك.

سكر خماسي الكربون وهو سكر الرايبوز أو دي - أوكسي - رايبوز.

وقواعد نيتروجينية تتبع البيورينات أو البيرميدينات ،،،، شكل(3)

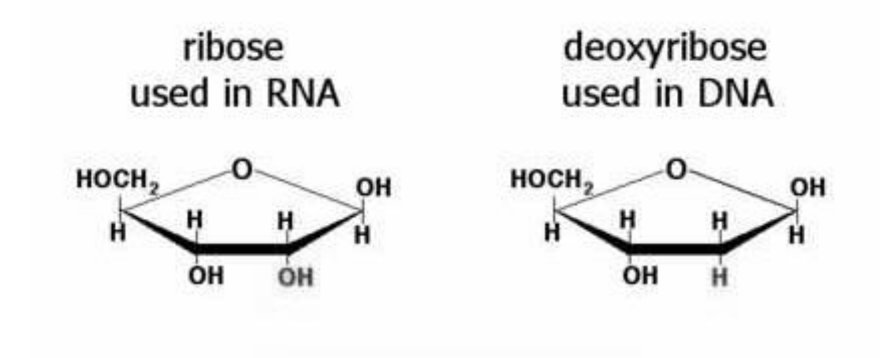
وسوف نتناول كل منهم بشيء من التفصيل...



السكر الخماسي Pentose Sugar

يوجد بأحماض النيوكليك نوعان من السكر الخماسي ، أحدهما هو D- رايبوز ويوجد في حمض (RNA) ، والثاني ديؤكسي رايبوز ويوجد في حمض (DNA) ، شكل (4) وأعطيت ذرات كربون السكر الخماسي الأرقام التالية 1َ، 2َ ، 3َ، 4َ، 5َ لتمييزها عن الأرقام المعطاة لذرات الكربون والنيتروجين الموجودة في البيرميدين والبيورين. ومن الخصائص الهامة للسكر الخماسي هو قدرة المجاميع الهيدروكسيلية على تكوين إسترات مع حمض الفسفوريك وخاصة تلك المجاميع الموجودة على الكربون الثالث والكربون الخامس.

شكل (4) يوضح سكر الرايبوز والديؤكسي رايبوز



البيورينات والبيرميدينات Pruines & Pyrimidine

1/قواعد بيورينية: وتنتج من التحام حلقة إيميدازول الخماسية مع حلقة البيرميدين وأهم هذه القواعد.

أدينين Adenine

جوانين Guanine

2/ قواعد بيرميدينية : وهذه القواعد مشتقة من البيرميدين بإستبدال ذرات الهيدروجين الموجودة على كربون رقم 2،4،5 بمجاميع أمينو أوهيدروكسيل أو ميثايل وأهم هذه القواعد:

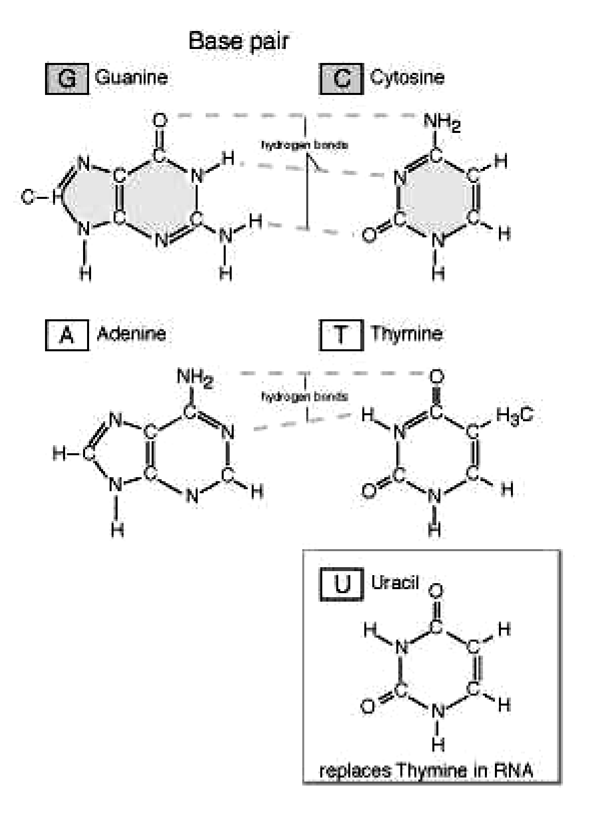
سيتوزين Cytosine

يوراسيلUracil

ثايمين Thymine

ويحتوي كلاً من الحمضيين النوويين DNA و RNA على القاعدتين الآزوتيتين من البيورين وهما الأدينين Adenine والجوانين Guanine ونجد أيضاً أن كلاً من الحمضيين النوويين DNA و RNA يحتوي على قاعدة آزوتية من نوع البيرميدين وهي سايتوزين Cytosine ولكنهما يختلفان في القاعدة الآزوتية الثانية من نوع البيرميدين فبينما يحتوي الحمض النووي RNA على القاعدة الآزوتية يوراسيل Uracil يحتوي الحمض النووي DNA على القاعدة الآزوتية ثايمين Thymine شكل (5)

شكل (5): يوضح كل من القواعد النيتروجينية (البيورينية والبيرميدينية)



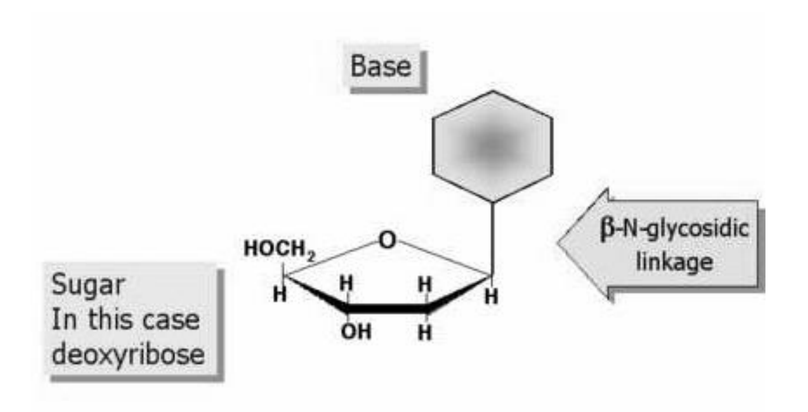
مجموعة الفوسفات Phosphate Group

تربط مجموعة الفوسفات بين مجموعات السكر الخماسية في سلاسل كل من الحمضين (DNA) و (RNA) .

النيوكليوزيدات Nucleosides

النيوكليوزيدات هي مركبات ناتجة من اتحاد أحد جزيئات القواعد الآزوتية من نوع البيورين أو البيرميدين مع جزيء السكر بيتا- رايبوز أو بيتا- ديؤكسي رايبوز برابطة جليوكسيدية (بيتا) ، وفيها تتصل القاعدة الآزوتية مع مجموعة هيدروكسيل هيمي أسيتال على ذرة الكربون الأولى للسكر. ومكان اتصال القاعدة الآزوتية بالسكر هو ذرة النيتروجين رقم 9 في البيورينات (الأدينين والجوانين) بينما في البيرميدين فمكان الاتصال مع السكر هو ذرة النيتروجين رقم 1 شكل (6).

شكل (6) : النيوكليوزيدة



النيوكليتيداتNucleotides

النيوكليتيدات هي إسترات حمض الفوسفوريك للنيوكلوزيدات وهناك واحدمن أهم النيوكليتيدات الموجودة طبيعياً وهو الأدوينوسين أحادي الفوسفات وهذا المركب(AMP)مع إثنين من مشتقاته وهما أدينوسين ثنائي الفوسفات(ADP)وأدينوسين ثلاثي الفوسفات(ATP)يلعب دوراً هاماً في حفظ الطاقة وفي الإستفادة من الطاقة المنطلقة خلال عمليات التمثيل الغذائي بالخلايا والأهمية الفسيولوجية لهذه المركبات تكمن في قدرتها على إعطاء وإكتساب مجموعات فوسفاتية في التفاعلات البيوكيميائية شكل(7). وتسمى النيوكليوز يدات والنيوكليتيدات تبعاً للقاعدة النيتروجينية الموجوده بها وهناك عدة أنظمة للتسمية موضحة في الشكل (8)

شكل(7)

syn-Adenosine	**anti-Adenosine**

شكل(8) نظام التسمية للنيوكليوزيدات والنيوكليتيدات

Base Formula	Base (X=H)	Nucleoside X=ribose or deoxyribose	Nucleotide X=ribose phosphate
	Cytosine, C	Cytidine, A	Cytidine monophosphate CMP
	Uracil, U	Uridine, U	Uridine monophosphate UMP

	Thymine, T	**Thymidine, T**	**Thymidine monophosphate TMP**
	Adenine, A	**Adenosine, A**	**Adenosine monophosphate AMP**
	Guanine, G	**Guanosine, A**	**Guanosine monophosphate GMP**

فصل الأحماض النووية **Isolation Of Nucleic Acid**

تطحن الأنسجة المراد إستخلاص الأحماض النووية منها على درجة حرارة منخفضة (أقل من40 درجة م) وذلك بعد إضافة محلول مائي للفينول المركز وصوديوم لورايل سلفات (أو أي مادة اخرى مناسبة لتقليل الجذب السطحي) إليها .

بعد هذه المعاملة يتغير التركيب الطبيعي للبروتينات الموجودة بالأنسجة وتصبح غير ذائبة في المحلول المائي وترسب بينما نجد أن الأحماض النووية تظل ذائبة في المحلول المائي. وبترك المطحون المتجانس الناتج ينفصل إلى طبقتين سائلتين ويمكن الإسراع بفصل الطبقتين بإجراء عملية طرد مركزي على درجة حرارة منخفضة . حيث يتم بعدها فصل الطبقة العليا المائية (والمحتوية على الأحماض النووية جميعها) عن الطبقة السفلى الأخرى الغنية بالفينول والتي يستغنى عنها.

ترسب الأحماض النووية من الطبقة المائية المفصولة وذلك بإضافة كحول الإيثايل اليها بعد ذلك يفصل الراسب المتكون بواسطة الطرد المركزي . وتنقى الأحماض النووية به بإذابته في الماء ثم إعادة ترسيبه بالكحول كما سبق وفصله بالطرد المركزي على صورة نقية.

ويمكن فصل كل من الحمضين النووين DNA و RNA كل على حدة بعد ذلك إما بمعاملته بإنزيم ريبونيوكليز (Ribonucleasa) وذلك لتكسير الحمض النووي RNA وتحويله إلى جزيئات صغيره ذائبة مع ترك الحمض النووي DNA كما هو بدون التأثير عليه . أو بمعاملة الخليط بإنزيم ديؤكسي ريبونيوكليز

(Deoxyribonuclease) حيث تتكسر جزيئات الحمض النووي DNA تاركاً الحمض النووي RNA بدون تأثر . وبعد التخلص من أحد الحمضين النوويين يضاف محلول مائي للفينول وذلك لترسيب وإزالة ماتبقى من بروتين ثم تفصل الطبقة المائية المحتوية على الحمض النووي المراد الحصول عليه بالطرد المركزي . حيث بضاف لها بعد ذلك كحول الإيثايل لترسيب الحمض النووي.

وحيث أن الحمض النووي DNA على صورته الطبيعية عبارة عن لولب حلزوني طويل فإن إضافة كحول الإيثايل إليه ينتج عنه ترسيب DNA على هيئة راسب طويل ليفي حيث يمكن الحصول عليه من المحلول

بلفه حول محرك زجاجي حيث يوضع بعد ذلك في مذيب مناسب مثل الأسيتون لتجفيفه حيث يسهل إزالته جافاً عن المحرك الزجاجي ويحفظ جافاً في زجاجات على درجة حرارة – 20 درجة م.

وعند استخدام الطريقة السابقه للحصول على الحمض النوويRNA فإننا نحصل على خليط غير متجانس من الأنواع المختلفة للحمض النووي الرايبونيوكلتيدي RNA . وهو الحمض النووي الناقل tRNA والحمض النووي الرسولmRNA والحمض النووي الرايبوسومي rRNA.

ولإجراء فصل لكل نوع في هذا الخليط عن الآخر يستخدم لذلك الفصل الكروماتوجرافي على أعمدة من الكيزلجهر المغطى بطبقة من ميثايل الألبومين (MAK) أو بالطرد المركزي على محلول سكروز متدرج التركيز (Sucrose Gradient) وبإستعمال هذه الطرق يفصل الخليط الى مكونات تبعاً لنوع النسيج الذي استخلصت منه فإذا كان من البكتيريا E.coli مثلاً فإن الخليط سيفصل الى ثلاث مكونات ، المكون الأول هو (tRNA) 4S والثاني 16S والثالث (*)23S وذلك من الحمض النووي RNAوالذي نتج من الرايبوزومات 70S بالبكتيريا بعد أن انقسمت وحداتها الريبوزومية 30S و 50S . بينما في حالة فصل الحمض النووي RNAالمفصول من أنسجة الثدييات نحصل على نوعين أحدهما 22S – 18 والآخر 34S – 28 وهذه نتجت من أنواع الرايبوزومات 80S بعد أن انقسمت وحداتها الرايبوزومية 40S و 60S .

خواص الأحماض النووية Properties Of Nucleic Acid

تمتص القواعد الآزوتية من نوع البيورين والبيرميدين الموجودة في الأحماض النووية الأشعة الفوق بنفسجية بدرجة كبيرة عند موجة ذات طول 260 نانوميتر (260 nm) . وتستخدم هذه الخاصية لتقدير هذه القواعد الآزوتية كمياً لتقدير نيوكليتيداتها وأيضاً الأحماض النووية الداخلة بتركيبها.

وعلى كل حال فان الحمض النووي DNA له معامل امتصاص نوعي عند طول الموجة 260 نانومتير يقل بمقدار حوالي 35 – 40 % عن معامل الامتصاص النوعي المتوقع من حاصل جمع الامتصاص لك قاعدة (على حدة) من القواعد الداخلة بتركيب الحمض النووي DNA . وهذه النظرية تمسى بنظرية التاثير الهيبوكرومي (Hypochromic) . وها الانخفاض في درجة الامتصاص النوعي للاشعة فوق البنفسجية بالنسبة للقواعد الازوتية المتحدة بجزيئات الحمض النووي DNA عن نظيراتها القواعد الحرة نتيجة لتكون روابط هيدروجينية بين القواعد الازوتية المتراكبة الواحد فوق الأخرى في كل من السلسلتين الحلزونيتين للحمض النووي DNA. وهذه الخاصية مفيدة في تقرير درجة الحلزونية (Helicity) للحمض النووي DNA .

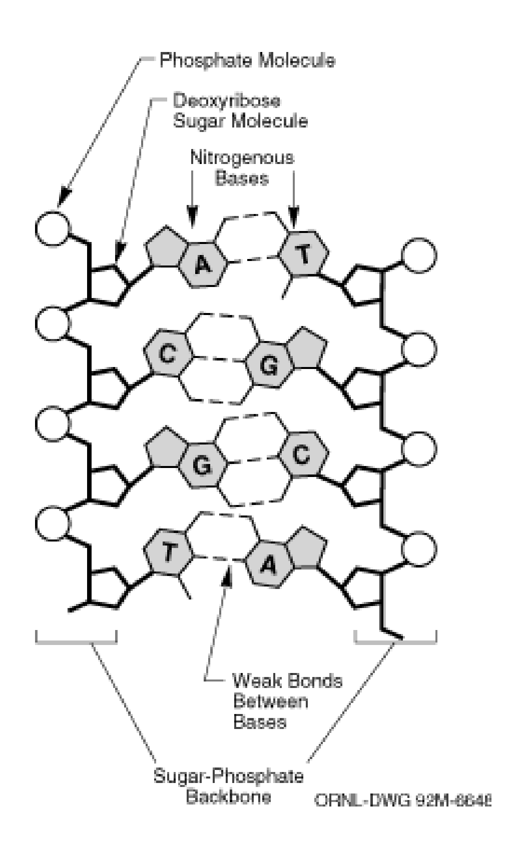
وعند تسخين الحمض النووي DNA المبلمر بدرجة كبيرة ببطء فان السلسلتين حلزونيتي الشكل به تبتعدان عن بعضهما وتسمى عملية الابتعاد هذه بعملية انفصال او تشتيت السلسلتين (Melting). وهذا التحول من الشكل الحلزوني ذو السلسلتين الى أي شكل

عشوائي يحدث خلال رفع درجة الحرارة عدداً قليلاً من الدرجات ونتيجة لهذا التحول تزداد درجة الامتصاص النوعي. وتسمى درجة الحرارة التي يحدث عـندها الـزيادة المفاجئة في الامتصاص لـلأشعة فوق البنفسجية بدرجة حرارة الانفصـال (Melting temperature Tm) للحمض النووي .

ولكل نوع من انواع الحمض النووي DNA درجة Tm خاصة به. اما عند اعادة تبريد المحلول ببطء فانه يحدث اعادة لتكوين الشكل الحلزوني ذو السلستين مع امكانية حدوث تبادل بين السلاسل وتسمى ههذه العملية Annealing .

ويلاحظ أن السلسلتين المكونتين للشكل الحلزوني في الحمض النووي DNA متوازيتان ولكنهما معكوستان (Antiparallel) والقواعد الازوتية بهما مزدوجة (Paired) بنظام A مع T و G مع c وهذا التخصص في الازدواج يعتمد على الروابط الهيدروجينية بين القواعد الازوتية فنجد ثلاثة روابط هيدروجينية لكل زوج G - C ورابطتين هيدروجينيتين لكل زوج A – T . انظر شكل (9) و شكل (10) .

شكل (9) نظام الروابط الهيدروجينية


Phosphate Molecule
Deoxyribose
Sugar Molecule
Nitrogenous
Bases
A
T
C
G
G
C
T
A
Weak Bonds
Between
Bases
Sugar-Phosphate
Backbone
ORNL-DWG 92M-6648

شكل (10) يوضح الترتيب الذي تسير عليه القواعد النيتروجينية

```
—A—T—G—C—G—A—T—C—G—A—T—C—G—C—G—C—T—A—T—G—C—A—
 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
—T—A—C—G—C—T—A—G—C—T—A—G—C—G—C—G—A—T—A—C—G—T—
```

ويمكن تشتيت سلسلتي الحمض النووي DNA عن بعضهما إذا انخفض رقمpH المحلول عن4 او اذا ارتفع عن11. حيث أن الأحماض النووية عبارة عن الكتروليتات عديدة (Polyelectrolytes) مع وجود شحنة سالبة واحدة لكل وحدة نيوكليوتيدية (هذه الشحنة ناتجة عن تاين الفوسفات ثنائي الاستر) في نطاق pH من 4 الى 11 . بينما عند pH اقل من 4 نجد ان المجموعات الامينية لقواعد الادنين والجوانين والسيتوزين تكتسب بروتوناً مع تحطم نظم الروابط الهيدروجينية . اما عند pH اعلى من 11 فان بروتونات مجموعات الهيدروكسيل على الجوانين والسيتوزين والثايمين (الناتجة من التغيرات الكيتونية الاينولية Keto – enol tautomers) تنفصل مع تحطم الروابط الهيدروجينية .

أما بالنسبة لتأثير الحرارة على الحمض النووي RNA نجد أن الوضع يختلف لان الحمض النووي RNA المستخلص من معظم المصادر يكون ذو سلسلة مفردة (Single – Stranded)

مع وجود أماكن قصيرة بها طيات على نفس السلسلة مكونة أماكن بها ازدواجيات بالسلسلة (Double – Stranded regions) لذا فان شكل المنحنى الخاص بتأثير الحرارة على درجة امتصاصه للضوء فوق البنفسجي (Melting profile) يتميز بزيادة قليلة في الامتصاص عند زيادة الحرارة وهذه الزيادة تكون غير حادة .

ويجدر بالذكر أن الصفات الجينية في عدد قليل من أنواع الفيروسات تحمل على الحمض النووي RNA ذو السلسلتين مزدوجتين وان نظام ازدواج القواعد الازوتية به G – C و A – U .

تركيب حامض الرايبو نيوكليك Structure Of RNA

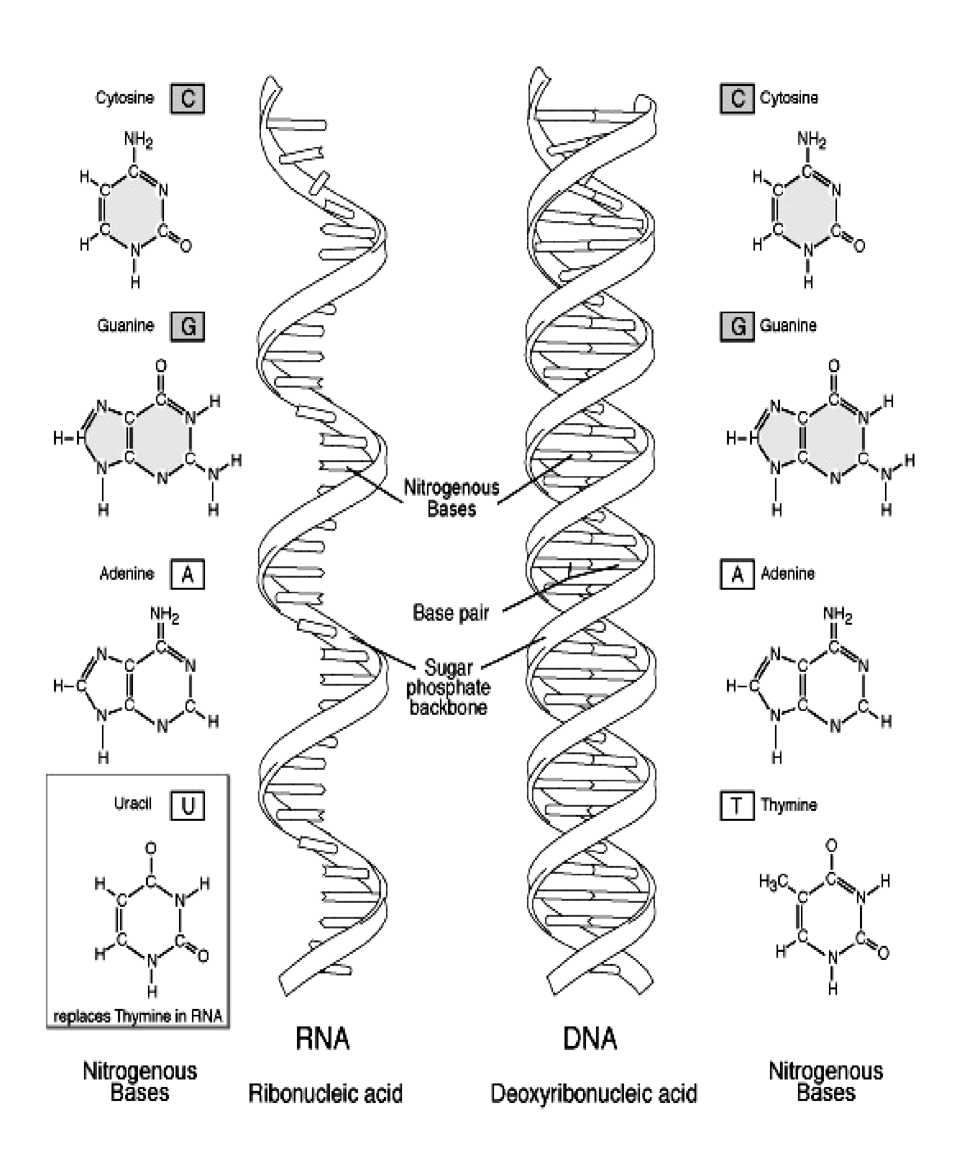
يكون الـ (RNA) بين 5-10% من الوزن الكلي للخلية وهناك 3 أنواع رئيسية من هذا الحامض النووي :

RNA الرسول (Messenger RNA) .

RNA الرايبوسومي (Ribosomal RNA) .

RNA الناقل (Transfer RNA) .

ولكل نوع من الأنواع الثلاثة وزن جزيئي وتركيب خاص به من القواعد النيتروجينية. ويحتوي كلاً من الحمضيين النوويين DNA و RNA على القاعدتين الآزوتيتين من البيورين وهما الأدينين Adenine والجوانين Guanine ونجد أيضاً أن كلاً من الحمضيين النوويين DNA و RNA يحتوي على قاعدة آزوتية من نوع البيرميدين وهي سايتوزين Cytosine ولكنهما يختلفان في القاعدة .
الآزوتية الثانية من نوع البيرميدين فبينما يحتوي الحمض النووي RNA على القاعدة الآزوتية يوراسيل Uracil يحتوي الحمض النووي DNA على القاعدة الآزوتية ثايمين Thymine شكل (11).


Cytosine
C
Guanine
G
Adenine
A
Uracil
U
replaces Thymine in RNA
Nitrogenous Bases
RNA
Ribonucleic acid
Nitrogenous Bases
Base pair
Sugar phosphate backbone
DNA
Deoxyribonucleic acid
Cytosine
Guanine
Adenine
Thymine
T
Nitrogenous Bases

شكل(11): يوضح الفرق بيت الحمض النووي DNA و RNA

تركيب الحمض النووي الدؤكسي ريبوز Structure Of DNA

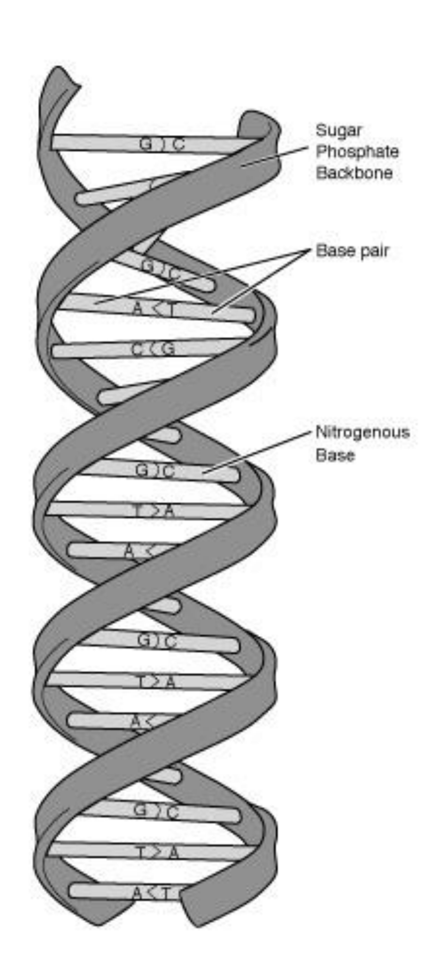
لاحظ العالم تشارجاف Chargaff أن نسبة الادنين الى الثايمين تقارب 1 وأيضاً نسبة السيتوزين إلى الجوانين تقارب إلى حد كبير 1 في جزيء الحمض النووي DAN وان هذه النسبة لها اهمية كبيره في ايجاد تركيب هذا الحمض . ولقد وجد بعد ذلك ان نيوكليتيدات الادنين والثايمين يمكن ان تزدوج بواسطة رابطتين هيدروجينيتين بينما السايتوزين والجوانين يمكن ان ينظما بالنسبة لبعضهما بوضع خاص في جزيء الحمض النووي يسمح بتكوين ثلاثة روابط هيدروجينية بينهما شكل(9) و شكل(10) وشكل (11) .

ولقد لاحظ العالم ولكنز Wilkins بانجلترا بستخدام اشعة اكس ان الحمض النووي DNA المستخلص من مصادر مختلفة متماثل الى حد كبير. ومن خلال نتائجه ونتائج العالم تشار جاف اقترح ان جزيء الحمض النووي DAN يتكون من اثنين او اكثر من السلاسل البولي نيوكليتيدية منظمة على شكل حلزوني وان السلاسل البولي ينيوكليتيدية الطويلة تمسك معاً خلال روابط هيدروجينية بين القواعد الازوتية .

وفي عام 1953م وضع العالمان واتسون وكريك Watson & Crick

تصميماً لجزيء الحمض النووي DAN شكل (12) وفي اقترح العالمان واتسون وكريك انه يتكون من سلسلتين بولي نيوكليتيديتين ملتفتين حلزونياً (باتجاه اليد اليمنى) وتتكون السلاسل من ديؤكسي - رايبوتيد فوسفات تتصل ببعضهما بواسطة ثنائي استر الفوسفات مع وجود القواعد الازوتية بشكل عامودي على المحور الوسطي لذا نحصل على تركيب خاص للسلسلتين ملتفتين حلزونياً حول محور عام وهذا الحلزون ممسوك معاً بروابط هيدروجينية بين الادينين والثايمين وبين السايتوزين والجوانين وتتخذ السلسلتان وضعاً متعاكساً بالنسبة لبعضهما ، شكل (13).

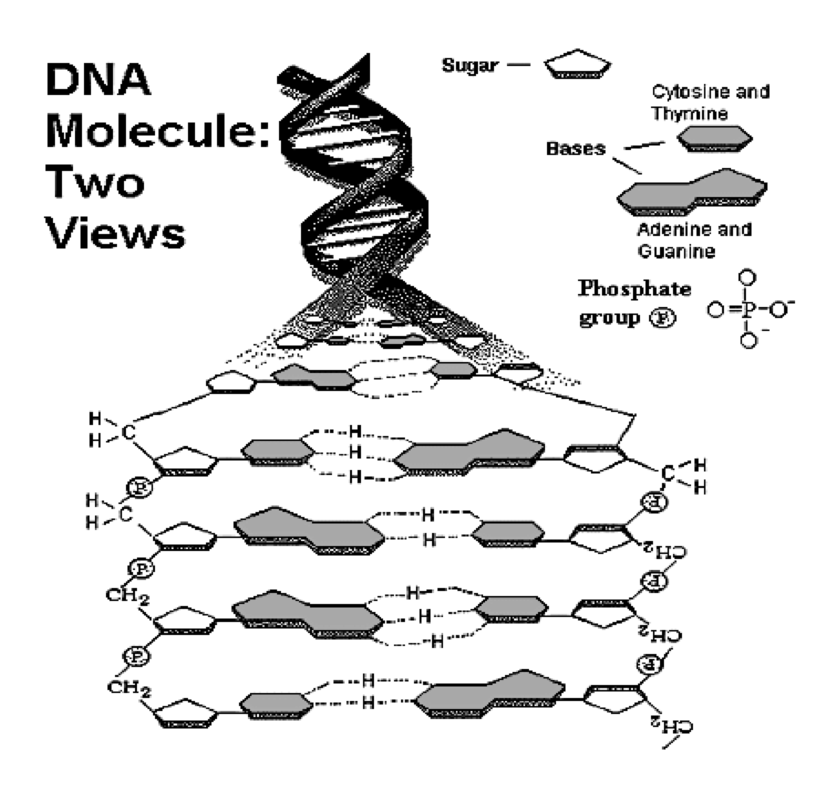
شكل (12) : الشكل الحلزوني ذو السلسلتين للحمض النووي DNA



ونتيجة الدراسات العديدة على أحماض النيوكليك بالأنسجة المختلفة وفي الكائنات الحية المتنوعة اتضح أن كمية DNA الموجودة في نويات الأنسجة المختلفة بأي كائن حي تكون ثابتة ولكنها تختلف من كائن لآخر ، ولم يلاحظ استثناء في هذه القاعدة إلا فيا لخلايا الجنسية التي تكون فردية الكروموسومات وفي هذه الحالة نجد أن كمية DNA الموجودة بها تكون نصف الكمية الموجودة بالخلايا الجسمية ، وفي الخلايا المتعددة الكروموسومات نجد أن كمية DNA تزداد تبعاً لتضاعف العدد الكروموسومي.

وعن طريق التحلل المائي وإستخدام طرق الكروموتوغرافيا المختلفة أمكن فصل القواعد النيتروجينية وتقدير كمية كل منهما ، كما استخدمت طرق أخرى، مثل تحليل منحنى الإنصهار وكثافة الطفو في تقدير كمية الجوانين والسيتوزين معاً ومن هذه الدراسات أمكن تقدير كمية كل من القواعد النيتروجينية في عدد كبير من أحماض الديؤكسي ريبو نيو كليك الموجودة بالكائنات الحية المختلفة.

شكل(13): يوضح تشكيل جزئ الـ DNA


DNA
Molecule:
Two
Views
Sugar
Cytosine and
Thymine
Bases
Adenine and
Guanine
Phosphate
group

تتابع النيوكليتيدات:

تعتبر طرق تقدير أنواع النيوكليتيدات وكمية كل منها في حمض DNA أسهل بكثير من طرق معرفة تتابع النيوكليتيدات أي ترتيبها في جزئ DNA ويحاول كثير من الباحثين التوصل إلى معرفة تتابع النيوكلتيدات في أحماض النيوكليك المختلفة لما لذلك من أهمية فائقة في فهم الكثير من طرق تنظيم العمليات الحيوية وما يؤدي ذلك إلى إمكان التحكم فيها أو تغييرها. وقد أستخدم في ذلك محموعة من طرق التحلل المائي الحمضي والقاعدي وكذلك التحليل المائي باستخدام أنزيمات مختلفة التخصص ، ومن أهم الطرق المستخدمة في الوقت الحاضر طرق تعتمد على تحليل الجار الملاصق وطرق تعتمد على التهجين مما يوضح البناء الأولي للجزئ.

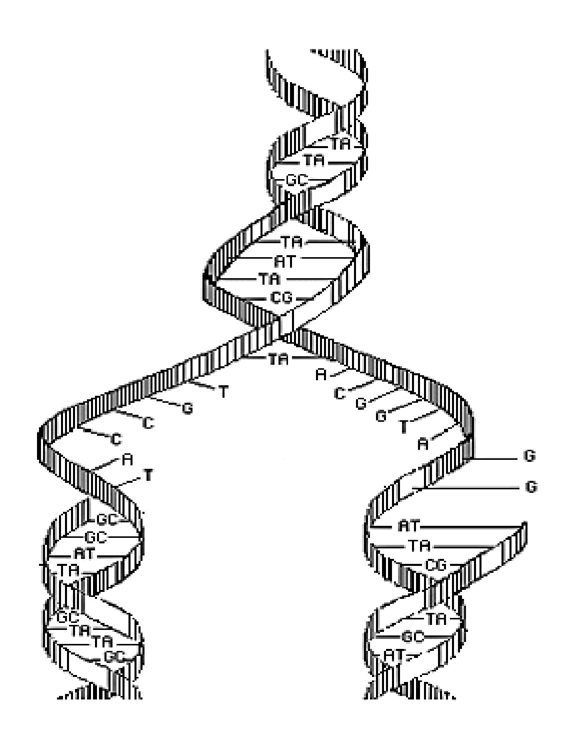
(طرق تحليل الجار الملاصق) :

وهي تستفيد بما هو معروف عن انزيمات البلمرة الخاصة بالنيوكلتيدات وعن طرق الفصل والتحلل المائي لأحماض الديؤكسي ريبو نيوكليك وعن استخدام النظائر المشعة وقياسها.

(طرق التهجين) :

وتستفيد هذه الطرق بما هو معروف عن (دنترة) أحماض الديؤكسي ريبو نيوكليك بالحرارة ، أي فصل الشريط المزدوج لجزئ DNA الى شرائط مفردة ورجوعها الى طبيعتها بالتبريد البطيء.

كما تستفيد بما هو معروف من تقابل القواعد النيتروجينية في أزواج محددة حيث يتقابل الأدينين مع الثايمين ، والجوانين مع السيتوزين ، شكل (14).



شكل(14) : يوضح بداية مرحلة الفصل في جزئ الـ DNA الذي يتم في طريقة التهجين حيث يتم فصل الشريط المزدوج الى شريطين باستخدام الحرارة وارجاعها الى طبيعتها بالتبريد البطيء وبما هو معروف من تقابل القواعد النيتروجينية .

الفصل الخامس
الأسلحة النووية

البيئة والأسلحة النووية... ذلك هو موضوع هذا البحث الذي يُسَلِّط الضوء من خلاله على الأسلحة النووية والدور الذي تلعبه في التأثير على البيئة وتلويثها..أو بمعنى أدق "تدميرها".

وإذ نُورد مصطلح "البيئة" في هذا البحث ، فإننا نعني البيئة بمفهومها الواسع ، باعتبارها مصطلح عام يعبِّر عن العناصر الطبيعية والحيوية التي لا دخل للإنسان في وجودها ، بالإضافة إلى العناصر المادية والصناعية التي أوجدها الإنسان ليحاكي بها المجتمع ويحيا على أرض هذا الكوكب. مستشهدين بخصوص ذلك بالتعريف الذي أورده المشرع الأردني من أن البيئة هي "المحيط الذي يشمل الكائنات الحية وغير الحية وما يحتويه من مواد وما يحيط به من هواء وماء وتربة وتفاعلات أي منها وما يقيمه الإنسان من منشآت فيه"(1) ، وقد أكد على هذا التعريف إعلان ستوكهولم لعام 1972 بأن قال بأنها: "كل شيء يحيط بالإنسان"(2) ،

حيث تشكل هذه العناصر في مجموعها ما يسمى بالنظام البيئي الذي تتحد فيه جميع العناصر السالفة الذكر وتسير بانتظام واضطراد لتحقق التوازن البيئي.

ثم لا يلبث أن يأتي شبح "التلوث" ملقياً بظلاله فوق النظام البيئي مُفسداً ما فيه من توازن من خلال إحداث خلل أو أكثر في جملة التفاعلات المكونة له. ويمكن تعريف تلوث البيئة بأنه: "أي تغيير في عناصر البيئة مما قد يؤدي بصورة مباشرة أو غير مباشرة إلى الإضرار بالبيئة أو يؤثر سلباً على عناصرها أو يؤثر على ممارسة الإنسان لحياته الطبيعية أو ما يخل بالتوازن الطبيعي"(3) ، مما يحد أو حتى يعدم قدرة البيئة على تجديد مواردها الطبيعية أو تحليل مخلفات الإنسان وناتج نشاطاته المختلفة(4). وبالتأكيد ، هذا كله يؤدي إلى "تدهور البيئة"(5) وليس تلوثها فحسب.

وقد أضحى تلوث البيئة أحد أهم وأكبر المشكلات التي تواجه كوكب الأرض في الوقت الراهن مع العلم بأن تلوث البيئة ليس بوليد اللحظة ، بل هو موجود منذ أكثر من قرن وقد ازداد ظهوره بعد قيام الثورة الصناعية وبعد قيام الحرب العالمية الثانية وما خلفته من دمار. وما زالت آثاره تفتك بالبيئة وتؤدي إلى تدهورها بشكلٍ يفوق قدرتها على ترميم نفسها. الأمر الذي أدى إلى حدوث العديد من الظواهر الغريبة التي يصعب -

أو حتى يستحيل- على العلماء والخبراء المتخصصين في كثير من الأحيان إيجاد تفسير منطقي لها ، أو إيجاد حل مناسب لدرء مخاطرها قبل أن تقضي على الكائنات الموجودة على هذا الكوكب. ومثال ذلك ظاهرة الإحتباس الحراري ، وتسارع ذوبان الجليد في قطبَيّ الكرة الأرضية وارتفاع منسوب البحار ، ما يهدد بدمار شامل يحدق بنا خلال العقود القادمة. هذا بالإضافة إلى تراجع التنوع الحيوي وانتشار العديد من الأوبئة الخطيرة والأمراض المميتة التي لم نسمع بها من قبل ، كجنون البقر وإنفلونزا الطيور ، وآخرهاً إنفلونزا الخنازير!

وبالرغم من أن السبب الرئيسي للتلوث يُعزى إلى ازدياد عدد سكان العالم بشكل هائل -وبالتالي ازدياد النفايات الطبيعية والصناعية- بالإضافة إلى التطور العلمي والصناعي والتقني الذي صاحبه استغلال سلبي للطاقة والمعدات الصناعية والأسلحة الحربية ، إلا أن هناك سبب حقيقي أكبر وأخطر يهدد البيئة ويكاد يكون له دور بارز في جميع أنواع التلوث الأخرى.. إنه "التلوث الإشعاعي" والذي ينتج عن استخدام الطاقة والأسلحة النووية. فالتلوث الإشعاعي يؤدي إلى تلوث الهواء ، التربة ، البحار والمحيطات ، وحتى طبقة الأوزون التي تغلف الأرض.

وتكمن خطورة هذا التلوث بأنه لا حدود له ، فما إن وُجِد في منطقة أو حيز ما فسرعان ما سنجده في المناطق المجاورة ومنها إلى المناطق الأبعد. وهذا ما سنتناوله في هذه الدراسة في أربعة فصول. يلقي أولها نظرة عامة على الأسلحة النووية ، بينما يتناول ثانيها الأسلحة النووية وأثرها على البيئة في حالة السلم ، ويليه ثالثها ليبحث ذات الأثر في حالة الحرب. بينما نبحث في التعاون الدولي في مواجهة الأخطار المحدقة بالبيئة بفعل الأسلحة النووية. وفي النهاية ، تقديم لبعض التوصيات والمقترحات البناءة في ذات الموضوع.

الأسلحة النووية يتناول تعريفاً عاماً بالأسلحة النووية وبيان لأنواعها الرئيسية وذلك منه. بينما يتناول كيفية عملها وأبرز مخاطرها.

مفهوم الأسلحة النووية وأنواعها:

تعتبر الأسلحة النووية أحدث أنواع أسلحة الدمار الشامل مقارنةً بالأسلحة البيولوجية والكيميائية ، وهي الأشد فتكاً من بينهم بالكائنات الحية وبالبيئة ككل. كما أن أثارها تتعدى الفترة الزمنية التي يتم استخدامها فيها لتتجاوزها بعشرات السنين غير آبهة بالحدود الجغرافية أو السياسية.

وقد كانت البداية في أوائل القرن الماضي عندما بدأ الإنسان بإكتشاف التركيب الدقيق للذرة [1] ومكوناتها. فبإكتشاف ماهية التفاعلات والحركة داخل الذرة ، وانطلاقاً من مبدأ أن "المادة لا تفنى ولا تستحدث ، بل تتحول من صورة إلى أخرى" ، خطا العالم أولى خطواته على طريق إنتاج الطاقة النووية واستغلالها في الخير والشر على حدٍ سواء.

فبعد أن كان يتم اللجوء في الحروب والعمليات العسكرية لما يسمى بـ"المتفجرات التقليدية" ، وهي تلك التي تعتمد على حدوث تفاعل كيميائي سريع جداً يتيح للطاقة المصاحبة له أن تتبدد وينجم تكوّن كميات هائلة من الغاز تتمدد بتأثير الحرارة وتدفع ما أمامها مسببة الإنفجار ، وكل ذلك دون أن يطرأ على نواة الذرة أي تغيير يُذكر ، لم يَعُد هذا النوع من المتفجرات مُجدياً في ظل اكتشاف الطاقة النووية. فتحوّلت الأنظار إلى "المتفجرات النووية"

---

1 . د. محمد زكي عويس ، أسلحة الدمار الشامل ، سلسلة إقرأ (611) ، دار المعارف ، 1996 ، ص (13).

التي تعتمد في انفجارها على طبيعة التغير الذي يطرأ على نواة الذرة ، فإن كان انقساماً في نوى الذرات تولدت عنه الطاقة ، نكون أمام قنبلة نووية. أما إن كان اندماجاً ، فسنكون أمام قنبلة هيدروجينية. وهذان هما نوعان للأسلحة النووية ، ثالثهما هو القنبلة النيوترونية. والمشكلة هي أن التفاعلات النووية تدوم دون توقف فهي تبقى حية لمدة طويلة جداً ، بمعنى أنها تواصل سلسلة من التفاعلات تدوم بدوام وجود اليورانيوم في الذرة 1 .

كيفية عمل الأسلحة النووية ومخاطرها:

لم يكن الإنسان يدرك مدى الخطر المحدق به وبما حوله عندما طوّر الأسلحة النووية واستخدمها لأول مرة. فحتى صانعوها لم يكن لديهم أدنى فكرة عن هول قوتها المدمرة. كان ذلك واضحاً في رد فعل فريق البحث العلمي الأمريكي الذي قام بإجراء أول تجربة تفجير نووي في تاريخ البشرية في صحراء ترينتي للتجارب بولاية نيومكسيكو في 16 تموز 1945. وكان من أبرز أعضاء هذا الفريق العالِم الأمريكي يوليوس أوبنهايمر الملقَّب بـ"أبي القنبلة" ، بالإضافة لعدد من علماء الذرة المتخصصين.

---

1 . د. محمد زكي عويس ، مرجع سابق ، ص (14-15).

وبالرغم من مدى علمهم جميعاً بالذرة وما ينشأ عن تفاعلاتها ، إلا أنهم لدى إجراء التفجير وانطلاق المارد المدمر ، وقفوا مذهولين من هول المنظر ، وصاح "أبو القنبلة" ذاك: "يا إلهي.. ماذا صنعت؟!"1.

وتتمثل الخصائص التدميرية للقنابل النووية بأنواعها في ثلاثة آثار: الإنفجار ، الحرارة ، والإشعاع. ناهيك عن الغبار الذري2 والدخان الكثيف اللذان يغمران مكان الإنفجار لسنين عديدة وعلى مساحات شاسعة. فبدءاً بالإنفجار ، فإن الطاقة الناتجة عنه تحوّل المواد المستخدمة إلى غاز وبالتالي ينتج ضغط هائل ورياح شديدة السرعة تتكون نتيجة التمدد المفاجئ. يلي ذلك لمعان وميض وهاج أقوى من ضوء الشمس ، وتصل درجة الحرارة إلى عشرة ملايين درجة مئوية3-وهي بذلك أعلى من درجة حرارة باطن الشمس- أما بالنسبة للإشعاع ، فتنطلق موجة قوية عاتية من الإشعاعات المميتة التي تبعثر الأتربة حيث تختلط هذه الأخيرة بها وبالتالي تكتسب خصائصها الإشعاعية وتباشر عملها في التدمير والخراب.

1 . موسى زناد ، كابوس الحرب النووية والمصير البشري ، دار القادسية ، بغداد 1985 ، ص (11).
2 . د. محمد زكي عويس ، مرجع سابق ، ص (22) ، الغبار الذري هو: "مجموعات هائلة من الرقائق المشعة المختلفة الحجم والصفات منها ما مصدره مادة القنابل نفسها ومنها أتربة اكتسبت خاصية الإشعاع باندماجها في عمليات التفجير واختلاطها بالإشعاعات أثناء الإنفجار النووي. والغبار النووي قد يبقى عالقاً في الفضاء سنوات عديدة".
3 . د. محمد زكي عويس ، مرجع سابق ، ص (20).

هذا وتتعدد مخاطر تلك الأسلحة العمياء بتعدد أنواعها. فالقنبلة النووية تحوي أشعة كفيلة بإتلاف طبقات الجلد وجعلها تتساقط الواحدة تلو الأخرى ، وإتلاف أنسجة الجسم الداخلية ، بالإضافة إلى أضرار بالغة تفني الكائن الحي بالتدريج ، كالأمراض الوراثية والحروق

البالغة والسرطانات وفقر الدم ، هذا إذا انتظرت على الكائن الحي ، ولم تودي به على الفور. أما القنبلة الهيدروجينية ، فبفعل الحرارة الهائلة التي تولِّدها تستطيع تدمير ما يعترض طريقها سواء أكانت كائنات حية أم غير ذلك. يليها القنبلة النيوترونية ، والتي لا تدمر المباني أو المنشآت ، إنما تقتل جميع الكائنات الحية على الفور بفعل الإشعاع المتولد عنها والذي يخترق الأجسام الحية.

الأسلحة النووية وأثرها على البيئة في حالة السلم:

يتناول فيه التجارب النووية وتأثيراتها ، مروراً بآثار التجارب النووية الفرنسية على الأراضي الجزائرية ، وبعض أهم المفاعلات النووية. بينما يتناول في الاستخدامات السلمية للطاقة النووية. يليه التطرق للنفايات النووية وكيفية التخلص منها.

التجارب النووية:

بالرغم من أن الاتجاهات القانونية السائدة في المجتمع الدولي تميل إلى حظر التجارب النووية لما لها من آثار سلبية على البيئة تتسبب بها الإشعاعات النووية الصادرة إما عن التفاعلات النووية نفسها أو عن النفايات النووية التي تخلفها ، إلا أن التطبيق العملي لهذا الحظر يسير بخطىً بطيئة لا تتناسب في سرعتها مع سرعة وقوة الخطر الذي يتربص بالبيئة مع كل تفاعل نووي أياً كان الغرض منه.

وتختلف التجارب النووية باختلاف الغرض منها. فهناك التجارب النووية العسكرية كتلك التي تُجرى على القنابل النووية للتأكد من مدى تأثيرها وفتكها لغايات استخدامها في الحروب. مثال ذلك القنبلتان النوويتان اللتان تم إلقاءهما على مدينتي هيروشيما وناجازاكي. حيث تم تجريب قنبلة مماثلة وسط صحراء ترينتي في نيومكسيكو قبل ذلك بأقل من شهرٍ واحد ولمّا تأكدت الولايات المتحدة الأمريكية من فاعلية تلك القنبلة سارعت باستخدامها لإجبار اليابان على الإستسلام والرضوخ لها.

كذلك الجزائر كان لها نصيب من التجارب النووية. حيث قامت فرنسا بإجراء (17) تجربة نووية في مطلع الستينات من القرن الماضي في مدينتي "رقان" و "عين إينكر" جنوبي الجزائر. استغلت فيها فرنسا في ذلك الوقت انتشار الجهل والفقر والبطالة في تلك المناطق ،

بل وسَخَّرت حوالي (3500) عاملاً جزائرياً للعمل ليلاً نهاراً لمساعدة الفرنسيين في الإعداد للتجارب النووية وفي تجهيز مكان التفجير وتعبيد الطريق بينه وبين ثكنتهم العسكرية. كانوا يسندون للجزائرين أشق المهام مقارنةً بالعمال الفرنسين الـ (6500) المستخدمين في نفس المشروع. وفي خلال ثلاث سنوات كان كلُّ شيءٍ جاهزاً للبدء بالتفجيرات.

غداً ستنفجر القنبلة ، فلا يخرج أحد من منزله ، أغمضوا أعينكم ولا تنظروا في السماء. وبلّغوا هذا إلى أهاليكم وجيرانكم".. هذه كانت العبارات التي قالها الفرنسيون للجزائيين في الليلة التي سبقت تفجير القنبلة الأولى صباح يوم 13 شباط 1960.

وعلى الرغم من علم سكان المنطقة بإجراء تجربة نووية وبحصول تفجير في ذلك اليوم إلا أنهم لم يتوقعوا أن يكون مرعباً لهذه الدرجة. كان وقع الإنفجار أضخم مما تخيلوا فقد فاق قوة تفجير هيروشيا بثلاثة أضعاف، زُلزِلَت الأرض واسودت السماء حتى ظن الجزائريون أن الساعة قد حانت. كانت هذه هي البداية للمعاناة التي ما زال سكان تلك المناطق يعانون منها حتى الآن جيلاً بعد جيل. ولم تنتهي التجارب النووية الفرنسية عند هذا الحد ، بل أُجريت ثلاثة تجارب أخرى في نفس المدينة خلال السنتين اللاحقتين للتفجير الأول. انطلقت بعدها فرنسا إلى منطقة "عين إينكر" أقصى جنوبي الجزائر وأجرت فيها (13) عملية تفجير نووية جوفية. حصدت التجارب النووية الفرنسية في الجزائر عشرات الآلاف من الأرواح ، وتسببت بتشوهات وإعاقات وأمراض لا تزال تتوارثها الأجيال حتى بعد مرور نصف قرن. فبالإضافة لمرض السرطان القاتل ، انتشر العمى والرمد الحبيبي في المنطقة الأمر الذي أدى بالكثيرين لفقد أبصارهم.

ومما زاد في حجم الخسائر البشرية أن السلطات الفرنسية جاءت بحوالي (150) أسيراً جزائرياً إلى المنطقة لدراسة أثر الإشعاعات النووية عليهم بعد تفجير قنابل ذات قوى هائلة وصل امتداد إشعاعاتها النووية إلى (700) كم. بالإضافة لحوالي (42) ألف جزائري استُغِّلوا كفئران تجارب خلال التفجيرات التي تمت ما بين شباط وحتى كانون أول لعام 1960.

هذا بالنسبة للخسائر البشرية ، أما البيئة ، فلم تسلم هي الأخرى. فقد تسببت تلك التجارب بتغيير مناخ المنطقة وتشوه السلالات الحيوانية وبالتالي تراجع الثروة الحيوانية ، وتدهور التنوع الحيوي. هذا وتراجعت الزراعة والمحاصيل بشكل كبير بسبب احتراق مساحات واسعة من الأراضي بفعل الإشعاعات ، وأضحت الكثير من الأشجار إما عقيمة وإما تنتج ثماراً غريبة الشكل. لتصبح بعدها تلك المناطق عاجزة عن تحقيق الإكتفاء الذاتي لسكانها بعد أن كانت من المناطق المصدرة للحبوب والطماطم والتمور إلى أنحاء العالم.

ولكن ، يبدو أن فرنسا بدأت تشعر مؤخراً بتأنيب الضمير ، حيث قررت مطلع العام الحالي أن تمنح تعويضاً مادياً لأهالي تلك المناطق. إلا أن هذا القرار لم يلقَ الترحيب من قبل الكثيرين ممن لا زال صوت الإنفجار يدوّي في آذانهم حتى الآن ، أو لا زالت أعينهم ترى جمال وجوه أبناءهم وأحفادهم مشوهاً. فليس هناك تعويضاً مادياً من شأنه أن يُنسي هؤلاء الناس المعاناة والدمار اللذان سببتهما لهم فرنسا بعبثها بأراضيهم وأرواحهم.

أما التجارب النووية التي تُجرى لغايات البحوث العلمية والإكتشافات بغرض تطوير استخدام التفاعلات الذرية في توليد الطاقة للاستخدامات السلمية -والتي تتم داخل مفاعلات

ومحطات نووية أعدت خصيصاً لهذه الغاية- فهي أيضاً محفوفة بالمخاطر التي تهدد البيئة شأنها في ذلك شأن الأسلحة النووية.

وبين تَضارُب الآراء حول ضرورة إيجاد مصادر طاقة بديلة عن المصادر الطبيعية التي شارفت على النضوب ، وحول تبني خيار استغلال التفاعلات الذرية لتكون هي هذا البديل ، تبقى هذه الأخيرة ناقوس خطر يدق مع كل تفاعل نووي. فالمفاعلات النووية التي تُجرى بداخلها هذه التجارب تظل مهددة طوال الوقت

إما بتسرب الإشعاع منها أو بحدوث إنفجار يصاحبه تلوث إشعاعي هائل يبيد البشرية. حتى الدول المتقدمة لم تستطع أن تأمن على نفسها من هذا الخطر عندما داهم مفاعلاتها النووية. فكان في حادثة التسرب الإشعاعي من محطة "ثري مايل آيلاند" النووية في ولاية بنسيلفينيا الأمريكية في 28 آذار 1979 ما أثار حفيظة العالَم ضد الطاقة النووية بالرغم من أن هذه الحادثة لم تسفر عن خسائر بشرية ، نظراً لأن الخلل الذي حصل في المفاعل أدى إلى انصهار قلب المفاعل فقط دون أن يتعداه إلى المحيط الخارجي. نجم عن ذلك تسرباً إشعاعياً ولكن لحسن الحظ لم ينفجر المفاعل النووي.

لم يكن الحال مشابهاً بالنسبة لروسيا -الإتحاد السوفييتي آنذاك- ففي 26 نيسان 1986 ، أدى الخلل الذي حصل في المفاعل النووي الرابع في محطة "تشيرنوبل" النووية في مدينة أوكرانيا إلى حدوث أسوأ كارثة نووية في تاريخ البشرية أجمع(1). قيل بدايةً أن الحادث نتج عن خطأ في تشغيل المفاعل أثناء إجراء التجربة النووية ، ثم تبين بعد ذلك أنه ناتج عن خطأ في تصميم المفاعل نفسه بالإضافة عدم إحاطة مُشغِّلي المفاعل بكافة خصائصه

حيث بقي بعضها طي الكتمان كأسرار عسكرية ؛ وكذلك عدم التقيد التام بتدابير الأمان اللازمة خلال إجراء التجربة وتشغيل المفاعل. علماً بأن هذا المفاعل كان لا زال حديثاً حيث تمت إضافته إلى المحطة النووية قبل ثلاثة أعوام فقط من إنفجاره. انفجر المفاعل ، وأدى ذلك إلى انبعاث حوالي (7) أطنان من المواد المشعة إلى مساحات شاسعة جداً تخطت المدن الروسية لتصل إلى دول أوروبا ومناطق أخرى من العالم. زاد التلوث الإشعاعي الذي انتشر آنذاك بحوالي (400) ضعف عن التلوث الذي نجم عن تفجير قنبلة هيروشيما.

أصيب الكثيرين بحروقٍ بالغة ، وتغلغل مرض السرطان بأجساد الآلاف من الروس والأوروبيين. غالبية المتضررين كانوا من رجال الإطفاء وأفراد الجيش والعمال الذي هرعوا إلى إخماد ألسنة النار الملتهبة وكُلِّفوا بتنظيف المكان من آثار الإنفجار. لم تُعلمهم السلطات آنذاك بالخطر الموجود بذلك المكان كما لم يتم تزويدهم بأي معدات أو ملابس خاصة للوقاية من الإشعاع. قاموا هؤلاء بجمع مخلفات الإنفجار وإعادتها إلى داخل المفاعل نفسه ليتم بعدها طمره بأطنان من الرمل وبناء هيكل من الصلب فوقه بغرض إحكام إغلاقه.

المئات لقوا حتفهم جراء تعرضهم للإشعاع النووي. حتى الأطفال كان لهم نصيب من ذلك ، حيث تَفَشَّى سرطان الغدة الدرقية لدى حوالي (1800) طفل خلال فترة قصيرة بسبب تلوث غذاءهم باليود المشع. دُمِّرت البيئة المحيطة بالكامل على مساحة (10) كم حول المفاعل وتم إجلاء سكان المناطق المجاورة على مساحة (30) كم حول المفاعل لِيَخلو المكان بعدها من أي أثر للحياة. وبعد فترة من الزمن ، ظهرت بعض النباتات والحيوانات غريبة الشكل مما دفع بالبعض إلى تسمية المكان بـ"غابة العجائب!".

لم تتوقف محطة تشيرنوبل عن العمل بعد الإنفجار ، بل عادت لتشغيل مفاعلاتها الثلاث المتبقية لتعوِّض ما عانته من نقص في الطاقة. ثم لم تلبث أن تخسر مفاعلها الثاني في عام 1991 إثرَ نشوب حريقٍ فيه أدى إلى حصول أضرار لا يمكن إصلاحها. بعدها بأعوام قليلة وتحديداً في عام 1996 تم إغلاق المفاعل الثالث في المحطة بناءً على إتفاق بين حكومة أوكرانيا والوكالة الدولية للطاقة الذرية. وبقي الحال كما هو عليه حتى عام 2000 عندما أغلق الرئيس الأوكراني المفاعل الأخير بنفسه ، وأُغلقت المحطة بأكملها تماماً.

ولا يسعنا سوى القول بأن المفاعلات النووية تبقى سلاحاً ذو حدين. فبالرغم من أهميتها العظمى في توليد الطاقة الكهربائية والحرارية إلا أنه لا يمكن التنبؤ أبداً باللحظة التي تثور فيها غاضبة لتبيد ما حولها. وللأسف ، ذلك هو ثمن تبني خيار استخدام الطاقة النووية ، الذي لا يقتصر دفعه فقط على من يستخدمونها فعلياً.. بل تُجبر على دفعه البشرية أجمع.

الطاقة النووية واستخداماتها السلمية:

يمكن القول بأن الطاقة النووية سلاحٌ ذو حدين ، فتارةً نجدها قوة مدمرة تجتاح مظاهر الحياة على هذا الكوكب ، وتارةً أخرى نجدها تدعم التقدم الصناعي والتكنولوجي وتغطي احتياجات العالم من الطاقة ، سواء أكانت طاقة حرارية أم كهربائية. وتزداد أهميتها يوماً تلو الآخر بسبب نضوب المصادر الطبيعية التي كان يعتمد عليها العالم للحصول على حاجته من الطاقة.

وقد استُخدِمت الطاقة النووية لأغراضٍ سلميةٍ عدة ، نذكر منها(1):

استخدام الطاقة النووية في إزالة ملوحة الماء لإنتاج ماء عذب ، ويتم ذلك من خلال محطات نووية تعمل على تحلية مياه البحر بإزالة ملوحتها بتقطيرها عبر عدة مبخرات وميضية. وتعتبر مثل هذه المحطات حلاً عملياً في ظل الظروف الإقتصادية العالمية لكونها لا تحتاج في تشغيلها إلى النفط.

استخدام الطاقة النووية لإنتاج طاقة حرارية ، حيث يتم استغلال الحرارة التي تطردها المحطات النووية لغايات التدفئة وتوليد طاقة حرارية. وقد كانت السويد أول من بادر في

هذا المجال مستغلةً المفاعلات النووية لتزويد ما يقارب (50) مدينة من مدنها بالتدفئة والمياه الساخنة صيفاً وشتاءً.

استخدام الطاقة النووية لإنتاج طاقة كهربائية ، حيث تم تطوير محطات نووية مزدوجة ، أي تنتج طاقة كهربائية وحرارية في آن واحد. وبذلك تسد احتياجات الدول الصناعية المتزايدة للكهرباء.

استخدام الطاقة النووية في محركات السفن والغواصات ، وبدأ ذلك بقيام الولايات المتحدة الأمريكية وللمرة الأولى باستخدام محركات دفع تعمل بالطاقة النووية في أول غواصة ذرية عسكرية عام 1954. توالت بعدها السفن والغواصات وكاسحات الجليد التي تعمل بواسطة هذا النوع من المحركات. وأصبحت تُصَنَّع لدى العديد من الدول كالولايات المتحدة ، روسيا ، بريطانيا ، فرنسا ، ألمانيا واليابان.

استخدام الطاقة النووية في الطائرات والصواريخ النووية(2) ، حيث يمكن تزويد الطائرات النفاثة والصواريخ النووية بمفاعل يتناسب مع حجمها ويزودها بالوقود النووي وبذلك يساعدها على الطيران بسرعة تزيد على سرعة الصوت ولمسافات طويلة جداً مما مكَّن العالم من السفر إلى الفضاء الخارجي.

وتبقى الطاقة النووية على الرغم من عِظَم فائدتها تؤثر سلباً على هذا الكوكب. فبعيداً عن خطر انفجار المفاعلات النووية ، تبقى لدينا مشكلة الفضلات النووية وكيفية التخلص منها.

الفضلات النووية:

لا تنتهي مخاطر الطاقة النووية عند حد استخدامها الفعلي ، سواء أكان سلمياً أم حربياً. بل تتعداه لتبقى متصلة بكل ما ينتج عنها من مخلفات أو فضلات. حيث تحتفظ هذه الفضلات بالخصائص الإشعاعية السامة التي كانت لها منذ بداية التفاعل النووي ، وتستمر في تأثيراتها التدميرية لعشرات السنين.

وقد شكّلت الفضلات النووية أزمة على الصعيد العالمي نظراً لكون التخلص منها بأي طريقةٍ كانت لا يزال يلوّث البيئة ويضر بالكائنات الحية الموجودة ولو على بعد عدة كيلومترات من أماكن هذه الفضلات. وللأسف، لجأت بعض الدول الصناعية المتقدمة إلى طمر نفاياتها النووية -المخزنة في براميل معدة خصيصاً لذلك- في باطن الأرض دون أن تراعي اختيار المكان المناسب لذلك. فكانت دول الشمال المتقدمة تطمر نفاياتها النووية في أراضي دول الجنوب النامية مقابل حصول الأخيرة على الدعم المادي. ولم تستطع عمليات الطمر في باطن الأرض منع مياه الأمطار من التسرب وصولاً إلى تلك النفايات السامة وبالتالي تلويث المياه الجوفية بالإشعاعات الذرية. إضافةً إلى أن هذا يؤثر أيضاً في طبقات الأرض والتربة وبالتالي يؤثر في الثروة النباتية والأراضي الزراعية وفي الثروة الحيوانية كذلك.

البعض الآخر من هذه الدول كان يعمل على إخراج النفايات النووية خارج حدودها تماماً من خلال نقلها على متن سفن خاصة وإلقاءها في مياه سواحل إفريقيا أو البحر الأحمر. أما ما كان أسوأ من ذلك ، فتمثّل في تزييف أشكال ومسميات النفايات النووية التي تم إرسالها من قبل الدول المتقدمة إلى الدول النامية. فعلى سبيل المثال ، تم إرسال رماد من مدينة "فيلادلفيا" الأمريكية إلى "هايتي" على أنه سماد ، وإلى "غينيا" على أنها مواد لصناعة الطوب. بالإضافة إلى شحنة من المبيدات الحشرية منتهية الصلاحية تم إرسالها من قبل شركة أمريكية إلى الهند وكوريا الجنوبية ونيجيريا على أنها مواد كيميائية نقية. حيث تستغل الدول المتقدمة فقر الدول النامية وديونها المتراكمة لتبادلها بالنفايات النووية السامة التي يدوم مفعولها إلى أمدٍ بعيد.

وقد تكشفت مع مرور الوقت الآثار التدميرية لتلك السموم ، حيث بدأت الأمراض العضوية ، العقلية والنفسية بالظهور ، وبدأت الأشجار تتلف والكائنات الحية تموت. وعندها فقط ، أدركت تلك الدول النامية الخطر الذي ألحقته بسكانها وببيئتها مقابل حفنة نقود.

الأسلحة النووية وأثرها على البيئة في حالة الحرب:

نتعرض فيه لدور محكمة العدل الدولية في مواجهة الأسلحة النووية من خلال الفتوى التي أصدرتها بشأن مشروعية التهديد بالأسلحة النوويةأو استخدامها. ثم نُتبِع ذلك بأبرز الكوارث النووية الحربية (هيروشيما وناجازاكي)

دور محكمة العدل الدولية في مواجهة الأسلحة النووية:

"هل التهديد بالأسلحة النووية أو استخدامها في أي ظرف من الظروف يكون مسموحاً به بموجب القانون الدولي؟" كانت هذه هي المسألة التي طرحتها الجمعية العامة للأمم المتحدة أمام محكمة العدل الدولية بعد أن أدركت أن استمرار وجود وتطوير الأسلحة النووية يُعرِّض الإنسانية لمخاطر جسيمة ويهدد السلامة الإقليمية لأي دولة. حيث أصدرت المحكمة الموقرة فتواها بهذا الشأن في 8 تموز 1996 لِتُقِر بأنه ليس هناك في القانون الدولي العرفي أو الإتفاقي ما يجيز التهديد بالأسلحة النووية أو استخدامها كما لا يوجد أيضاً حظر عام وشامل لذلك. ولكن ينبغي أن يبقى التهديد بالأسلحة النووية أو استخدامها متماشياً مع القوانين الدولية المُطبَّقة في حالات النزاع المسلح وبما لا يتعارض مع أحكام ميثاق الأمم المتحدة وإلا كان ذلك غير مشروعاً. كما يجب مواصلة العمل والمفاوضات بشأن نزع السلاح النووي تحت رقابة دولية صارمة(1).

كما سلَّمت المحكمة بأن البيئة مهددة يومياً طالما أن هناك أسلحة نووية. وأكدت على وجود القانون البيئي العرفي عندما نصَّت على أن احترام بيئة الدول هو جزء من القانون الدولي المتصل بالبيئة وبالتالي ويجب أخذ ذلك في الحسبان عند السعي لتحقيق الأهداف العسكرية في النزاعات المسلحة(2). هذا وقد أخذت المحكمة الموقرة بعين الإعتبار الخصائص

الفريدة للأسلحة النووية وقدرتها على التدمير وإحداث آلامٍ لا حصر لها. بالإضافة إلى إضرارها بالأجيال القادمة كَونها أجهزة تفجيرية تطلق كميات هائلة من الحرارة والطاقة والإشعاع طويل الأمد مما يجعلها أكثر ضرراً من أنواع الأسلحة الأخرى خاصةً أن القوة التدميرية لها لا يمكن احتواؤها مكانياً ولا زمنياً. وتؤثر في الصحة والزراعة والموارد الطبيعية والسكان على مساحات شاسعة. إضافة إلى أن الإشعاع يضر بالبيئة والأجيال في المستقبل ويتسبب بأمراض وتشوهات جينية(3). مما يؤكد على أن الآثار التدميرية المفرطة التي تخلفها الأسلحة النووية لا تتناسب أبداً مع قيمة الأهداف العسكرية المرجو تحقيقها مهما بلغت هذه الأهداف.

في ضوء هذا القرار أصدر قضاة محكمة العدل الدولية آراءً متباينة نذكر منها رأي القاضي "فيراري برافو Ferrari Bravo" الذي رأى أنه كان يجدر إعمال قاعدة حظر الأسلحة النووية وإزالتها بكافة أشكالها حيث بُنِيت هذه القاعدة بالأساس على قرارات الجمعية العامة ولكن للأسف حالت الحرب الباردة ومفهوم الردع النووي الذي أوجدته دون تطور هذه القاعدة ، مما ساعد الدول الحائزة لها على الإبقاء عليها.

كذلك القاضي "كوروما Koroma" ، رأى لدى تحليله لبعض الأدلة والدراسات المعنية أن الأسلحة النووية من شأنها أن تُهلك الملايين من الناس دون التمييز بين المدنيين والعسكريين ، وأن تتسبب لمن يظل على قيد الحياة بإصابات بليغة. كما تؤثر بالأجيال القادمة وتُلَوِّث البيئة والغذاء والماء بأشعتها الذرية وبالتالي تمنع عن الأحياء الضرورات الأساسية لبقاءهم. وفي كل ذلك مخالفةً لإتفاقيات جنيف لعام 1949 والبروتوكول الملحق الأول لعام 1977. لذا فاستخدام هذا النوع من الأسلحة أمر غير مشروع.

أما القاضي "ويرامانتري Weeramantry" فأشار بأن استخدام الأسلحة النووية أو التهديد بها أمر غير مشروع أيّاً كانت الظروف نظراً لما فيه من إنكارٍ للإنسانية وانتهاكٍ للقانون الدولي. ويضيف أن عدم وجود معاهدات وقوانين تحظر صراحةً استخدام الأسلحة النووية لا يعني إغفال النظر عن مبادئ القانون الدولي عموماً والدولي الإنساني تحديداً لبيان مشروعية استخدام هذا النوع من الأسلحة المدمرة. من هذه المبادئ نذكر مبدأ "حظر التسبب في معاناة غير ضرورية" ومبدأ "التناسب" ، "التمييز بين المقاتلين والمدنيين" ، "عدم إلحاق الضرر بالدول المحايدة" ، "حظر إلحاق أضرار دائمة وشديدة بالبيئة" ، و"حظر الإبادة الجماعية". بالإضافة لمبادئ قانون حقوق الإنسان. كما لا يمكن تصور وجود نظام قانوني يتضمن أحكاماً تضفي المشروعية على عمل من شأنه تدمير حضارة برمتها يعتبر ذلك النظام جزءاً منها.

أكد كذلك على أن الخصائص الفريدة للأسلحة النووية تجعلها أكثر فتكاً ووحشية من غيرها من الأسلحة. فاستخدامها يؤدي إلى نشر السرطانات والأمراض القاتلة بين الأجيال الموجودة آنذاك والأجيال اللاحقة على مدى عقودٍ طويلة. فنرى التشوهات والأمراض العقلية والوراثية تتغلغل في أجساد الأبناء والأحفاد من سلالات الآباء والأجداد الذي تعرضوا للغبار والإشعاع الذري. وهذا ليس فقط على صعيد بني البشر بل أيضاً نجد أن الثروة الزراعية

والحيوانية تتضرر هي أيضاً فتنتج نباتات وحيوانات غريبة الشكل. سواء في الدول التي تعرضت للكارثة أم في الدول المجاورة لها. كما تتعرض البيئة إلى مستوياتٍ مُهلكة من الحرارة والدخان الكثيف المحمل بالغبار والإشعاع الذري ، الذي قد يتسبب بهطول أمطار نووية سامة.

كوارث الحرب النووية:

بات من البديهي أن يتبادر إلى أذهاننا فور سماعنا لمصطلح "الأسلحة النووية" صور كارثتيّ هيروشيما وناجازاكي(1) ، المدينتان اليابانيتان اللتان تحولتا بما عليهما إلى رماد خلال ثوانٍ معدودة. ففي صباح يوم الإثنين الموافق 6 آب 1945 ، أشرقت الشمس على مدينة هيروشيما ذات السبعة أميال والبالغ عدد سكانها حوالي (480) ألفاً. إلا أن هذا اليوم أبداً لم يكن كسائر الأيام ، بل كان وللأسف يوماً ستذكره اليابان إلى الأبد وهي تبكي آلامه.

حلقت قاذفة القنابل الأمريكية في سماء هيروشيما على ارتفاع منخفض ، وما أن أحكمت الهدف حتى ألقت بقنبلتها النووية التي تزن حوالي (4.5) طن نحوه وانطلقت مبتعدةً بأقصى سرعة. وخلال أقل من دقيقتين على إطلاقها انفجرت القنبلة لتهز المدينة وسط كرة من النار الملتهبة التي بلغت درجة حرارتها (50) مليون درجة مئوية –

أي ما يزيد على ضعف حرارة قلب الشمس- انخفضت بعدها لتصل إلى (300) درجة مئوية ، ثم بدأت تتوالى توابع الإنفجار. فسرعان ما تلبدت السماء بسحابة من الدخان الكثيف الذي تلاه هطول أمطارٍ شديدة مثقلة بالغبار الذري والإشعاعات غطت المدينة على مساحة دائرة قطرها (5) كم ، واختفت المدينة بأكملها في ثوانٍ معدودة. عانى الآلاف من حروق وجروح قاتلة وتساقط الشعر وانعدام الشهية -بسبب التسمم الإشعاعي- وانتشرت على أجسادهم بقع نزفية وتحللت جلودهم. وهؤلاء بالطبع هم ممن كانوا أكثر حظاً من غيرهم بأن كانوا بعيدين قليلاً عن مكان الإنفجار. فمن كان قريباً منه تبخر على الفور بفعل الحرارة الهائلة ، أو قتله الإشعاع الذري الذي كان يعد قاتلاً حتى على مسافة (2) كم من موقعه. حصيلة هذا الدمار شملت (130) ألف قتيل ، ودمار (50) ألف منزل ، وتلاشي أربعة أميال كاملة من مساحة المدينة.

لم تستفق اليابان من ضربتها الأولى حتى تلقت الثانية على مدينة ناجازاكي صباح يوم 9 آب 1945. كانت الخسائر هذه المرة أقل نسبياً من سابقتها ، ويُعزى ذلك إلى الموقع الجغرافي للمدينة كونها محاطة بالجبال التي امتصت جزء كبير من قوة الإنفجار.

ومع ذلك ، بلغ عدد ضحايا تلك الكارثة (69) ألفاً منهم (26) ألف من القتلى. هذا وتُعزى الآلاف من حالات التشوه والأمراض الوراثية وأمراض السرطان المنتشرة حتى وقتنا هذا في مناطق الإنفجارين وما حولهما إلى الإشعاع الذري السام الذي تسببت بها الحرب النووية على اليابان قبل أكثر من نصف قرن.

التعاون الدولي في مواجهة الأخطار المحدقة بالبيئة بفعل الأسلحة النووية:

يبحث في دور المجتمع الدولي في مواجهة الأخطار المحدقة بالبيئة وخصوصاً تلك المرتبطة بالأسلحة النووية. فيتناول نظرة إلى بعض الإتفاقيات الخاصة بحماية البيئة من الأسلحة النووية ، ثم يتحدث عن المناطق الخالية منها.

الإتفاقيات والمعاهدات الخاصة بحماية البيئة من الأسلحة النووية

نحو درء مخاطر وتهديدات الأسلحة النووية عن البيئة ، تضافرت الجهود في المجتمع الدولي لإيجاد الحلول التي تُمكِّن الدول من استغلال الطاقة النووية دون أن تفتك بما حولها. فأُنشِأت اللجان والهيئات المتخصصة بشؤون الطاقة النووية ،

وسُنَّت التشريعات وفقاً لقواعد الأعراف الدولية ومقتضيات العدالة. فكان في إنشاء "الوكالة الدولية للطاقة الذرية" عام 1957 إحزار تقدمٍ كبير نحو تحقيق "السلامة النووية" بفرض السيطرة والرقابة على التعامل مع الطاقة النووية ومخلفاتها ، والحد من التسلح النووي للدول.

حيث تعتبر "إتفاقية جنيف لعام 1949 وبروتوكولاتها الأربعة" ، و"إتفاقية لاهاي الخاصة باحترام قوانين وأعراف الحرب البرية لعام 1907" من أبرز بصمات المجتمع الدولي في مجال تطبيق القانون الدولي الإنساني بما فيه حماية للبيئة والبشرية.

حيث حُظِرَ استخدام الأسلحة التي تُحدث آلاماً لا مبرر لها ، وقُيِّدت حرية المتحاربين في إختيار وسائل الحرب(1). كذلك كانت معاهدة "حظر وضع الأسلحة النووية وغيرها من أسلحة الدمار الشامل في قاع المحيطات وفي باطن الأرض لعام 1971" والتي تعهدت أطرافها بعدم تخزين أو رمي الأسلحة النووية أو غيرها في باطن الأرض أو قاع المحيطات. ومنحت الإتفاقية لأي جهةٍ كانت حق الرقابة على ذلك والإحالة إلى مجلس الأمن إذا لزم الأمر. جاءت بعدها إتفاقية "استخدام تقنيات التغيير في البيئة لأغراض عسكرية لعام 1976" وحظرت الاستخدام العسكري أو العدائي للتقنيات التي تُحدِث تغييراً بيئياً واسعاً ، مُفرطاً ،

أو طويل الأمد. بل وحظرت حتى مساعدة أي جهة أخرى على ذلك. تلتها إتفاقية "بازل بشأن التحكم في حركة النفايات الخطرة عبر الحدود والتخلص منها لعام 1989" لتُجَرِّم المتاجرة بالنفايات الخطرة وتعطي الحق للدول في حظر دخولها إلى إقاليمها(2).

هذا وتبقى الإتفاقيات المبرمة بشأن حماية البيئة سواء من الأسلحة والطاقة النووية ومخلفاتها أو من أي عوامل أخرى ، تبقى كثيرة وعديدة يصعب حصرها جميعاً في دراستنا هذه ، لذا أوردنا بعضاً منها كمثالٍ عليها فقط.

المناطق الخالية من الأسلحة النووية

بالإضافة إلى الإتفاقيات والمعاهدات التي جاءت لتنظم استغلال الأسلحة النووية وكيفية معالجة فضلاتها ، جاءت إتفاقيات أخرى عالجت موضوع الحد من إنتشار الأسلحة النووية في عدد من الدول إما بنزعها منها أو منع بناءها أو منعها من الحصول عليها. وذلك في إطار السعي لوقف سباق التسلح وإنشاء مناطق خالية من الأسلحة النووية. وقد كان ذلك مقابل تمكين تلك الدول من استغلال الطاقة النووية للأغراض السلمية. هذا وجاء "مؤتمر نزع السلاح" في عام 1979 ليجمع تحت رايته مجموعة من اللجان والهيئات المعنية بنزع السلاح ، ليسفر بعدها عن وضع مجموعة من أهم المعاهدات المتعلقة بذات الشأن. نذكر منها:

معاهدة منع التجارب النووية في الفضاء الخارجي وتحت سطح الماء لعام 1963.

معاهدة عدم إنتشار الأسلحة النووية لعام 1968.

معاهدة الحد من التجارب النووية تحت سطح الأرض لعام 1974.

معاهدة التفجيرات تحت سطح الأرض لأغراض سلمية لعام 1976.

معاهدة منع كل التجارب النووية لعام 1996.

أما في الوقت الراهن ، فإن المساعي الدولية تتوجه صَوب إنشاء منطقة خالية من السلاح النووي في الشرق الأوسط أسوةً بالأقاليم أو المناطق التي حققت ذلك بإبرامها معاهدات حظرت تصنيع أو حيازة أو تداول أي من أجهزة التفجير النووية. حيث تم تغطية أمريكا اللاتينية من خلال معاهدة "تلاتيلولكو Tlatelolco" ، ومنطقة جنوب المحيط الهادئ بمعاهدة "راروتونغا Rarotonga" ، أما إفريقيا فأُبرمت بشأنها معاهدة "بليندابا Pelindaba". إلا أنه يبدو بأن القرار الذي قدمته جمهورية مصر وتبنته الوكالة الدولية للطاقة الذرية قبل عامين بشأن إقامة منطقة معزولة السلاح النووي في الشرق الأوسط لم يَلقَ ترحيباً من إسرائيل والولايات المتحدة حيث صوتتا ضد هذا القرار ، بينما امتنع الإتحاد الأوروبي عن التصويت ، وصوتت 53 دولة لصالح القرار.

ومع العلم بأن الوكالة الدولية للطاقة الذرية أصدرت العديد من القرارات بشأن إخلاء الشرق الأوسط من الأسلحة النووية ، إلا أن اسرائيل لم تُلقِ لها بالاً وما تزال حتى وقتنا هذا ترفض الإنصياع لها وترفض إخضاع منشآتها النووية للرقابة الدولية. بل وترفض كذلك الإنضمام للمعاهدات المتعلقة بذات الشأن.

توصيات ومقترحات ختامية:

في ختام هذه الدراسة ، نورد بعض التوصيات المقترحة علّها تسهم ولو بالقليل في دعم المساعي والجهود الرامية لجعل هذا الكوكب صحياً ، سليماً ، خالياً من عوامل الدمار والخراب التي تؤدي إلى تآكله شيئاً فشيئاً والتي من أبرزها الطاقة النووية سواء في صورتها الإيجابية أم السلبية.. من ذلك نقول:

إعلامياً: تفعيل دور الإعلام بمختلف وسائله في نشر الوعي البيئي وتثقيف الأمم حول الشؤون البيئية والتهديدات المحدقة بها جراء السلوكيات التي يتبناها الإنسان في تعامله مع محيطه. وتوعية سكان المناطق التي اجتاحتها الكوارث النووية بالأمراض والتشوهات التي قد ترافق سلالاتهم عبر الزمان. كذلك العمل على جعل يوم البيئة -الموافق 5 حزيران من كل عام- يوماً يُسلَّط فيه الضوء على التغييرات البيئية ومسبباتها التي طرأت في العام المنصرم

وكيفية مجابهتها في العام الذي يليه.

قانونياً وسياسياً: تبني المزيد من التشريعات على المستويين الوطني والدولي بصورة أكثر جدية وصرامة فيما يخص تنظيم استغلال التفاعلات النووية سلمياً وحربياً ، بحيث تُجبَر -بدلاً من أن تُناشَد- جميع الدول على الإنصياع لها. فوجود المعاهدات الدولية التي تُحَرِّم تلك الأسلحة أو تحظر تجربتها أو التهديد بها لا يكفي إن لم تكن جميع دول العالم خاضعة لها بجدية. وبالتالي فإن سياسة الكيل بمكيالين التي تجبر بعض الدول على نزع أسلحتها النووية بموجب الإتفاقيات الدولية وتفتح الطريق أمام البعض الآخر -وعلى رأسهم إسرائيل- للهروب والتملص من الخضوع لهذه الإتفاقيات لن تُجدي نفعاً على الإطلاق ، بل ربما يكون في ذلك مضيعة للوقت!

رقابياً: تفعيل دور الرقابة والتفتيش من قِبل مُختَلَف الهيئات والوكالات الدولية المختصة بالشكل الذي يشمل جميع الدول دون استثناء ، سواء أكانت تلك التي تمتلك منشآت وأسلحة نووية تمارس من خلالها أخطر الأنشطة وأكثرها دماراً ، أم كانت من الدول النامية والفقيرة التي تسمح مقابل بعض المال بالعبث بأقاليمها لدفن السموم النووية فيها.

وعن الأسلحة النووية نقول.. "إن القنابل النووية ليست أسلحة فحسب بل هي أدوات للإبادة الجماعية.. امتلاكها لا يعني القوة وتكديسها لا يضمن التفوق. استعمالها سيكون جريمة إبادةٍ جماعية بحق المُعتَدَى عليه وانتحاراً للمعتدي.. وليس لدى عالم الطب ما يقدمه إلى الملايين من الجرحى والمصابين لتخفيف آلامهم قبل أن يَلقَوا حتفهم"(1).

الأسلحة النووية.. أسلحة عمياء.. لا تبقي ولا تذر النظر إلى كون الأسلحة النووية بوحشيتها المدمرة تشكل أحد أبرز التحديات البيئية التي تواجه العالم بأسره منذ أكثر من نصف قرن ، فقد وجدنا أن من شأن البحث والكتابة بشأنها إطلاق صيحة توقظ الكثيرين لتنذرهم من هول الدمار الذي حل بهذا الكوكب بفعل ذراتٍ دقيقة لا تُرى بالعين المجردة استطاع الإنسان بالعلم أن يكتشف ما بداخلها ولكن للأسف استطاع أيضاً أن يستغلها كوسيلة لإبادة العالم. فهي قد تنفجر بين يديه في أي وقت دون أن تترك له فرصة السيطرة عليها أو حتى الهروب منها.

فتحدثنا عنها في هذه الدراسة ذات الأربعة فصول. ولكونها تتعلق بالتحديات البيئية فكان لا بد من الإشارة أولاً إلى تعريف البيئة بمفهومها الواسع وبالنظام البيئي ككل وبيان ما بينهما من توازن وكيف أنه يختل بفعل التلوث البيئي بأنواعه المختلفة

والتي على رأسها "التلوث الإشعاعي" الناجم عن الطاقة النووية ومخلفاتها سواء استُخدِمَت سلمياً أم حربياً. ثم ألقينا نظرة عامة على الأسلحة النووية بأنواعها مع ذِكر مخاطرها على بني البشر والبيئة على حدٍ سواء. تطرقنا بعدها إلى الأثر البيئي لإستخدام السلمي للأسلحة النووية. ويُقصد بذلك إجراء التجارب النووية والتعامل مع المفاعلات النووية لإستغلالها في تزويد الدول بالطاقة الحرارية والكهربائية، وكذلك استخدامها كوقود نووي للسفن والطائرات والصواريخ. ثم تحدثنا عن الفضلات النووية كونها تشكل أزمة دولية فيما يتعلق بكيفية التخلص منها ومن تأثيراتها التي تلازمها لعشرات السنين.

جاء بعد ذلك ليبين الآثار البيئية للإستخدام الحربي للأسلحة النووية. فتطرقنا من خلاله إلى دور محكمة العدل الدولية في مواجهة الأسلحة النووية من خلال طرحنا لبعض أهم ما جاء في فتواها بشأن مشروعية التهديد بالأسلحة النووية أو استخدامها لعام 1996. تحدثنا بعدها عن الكوارث النووية التي حدثت في اليابان قبل نصف قرن ولا زالت الشعوب تعاني آثارها حتى الآن. تناول بعدها البحث في دور التعاون الدولي في مواجهة الأخطار البيئية التي تسببها الأسلحة النووية.

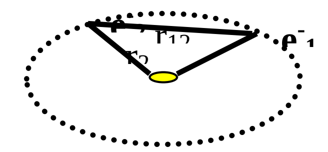
فذكرنا فيه عدداً من المعاهدات التي أُبرمت لتفرض القيود على استخدام الطاقة النووية. وأشرنا إلى دور مؤتمر نزع السلاح بهذا الشأن ومساعيه إلى إنشاء ما يسمى بـ"المناطق الخالية من الأسلحة النووية" حيث تم تطبيق ذلك على بعض الأقاليم ونحن بالإنتظار لأن تطبّق على منطقة الشرق الأوسط.

وختاماً أوردنا توصياتنا علّها تسهم ولو بالقليل في عملية إنقاذ هذا الكوكب. ركّزنا فيها على دور الإعلام والقانون والسياسة ، وكذلك الرقابة الدولية في تحقيق الأمن والأمان من خطر الأسلحة النووية.

الفصل السادس
الذرّات متعدّدة الإلكترونات

ذرّة الهيليوم:

بتعدّد إلكترونات الذرّة يصبح المؤثّر الهاميلتوني أكثر تعقيداً ويتعذّر بذلك الحلّ التحليلي المضبوط (exactanalytical solution) ونُضطرّ إلى اللجوء إلى الأساليب التقريبيّة. نعالج في ما يلي أبسط الذرّات متعدّدة الإلكترونات، ذرّة الهيليوم، والتي تحتوي على إلكترونين يدوران حول النواة.



r_1

نكتب المؤثّر الهاميلتوني على النحو التالي:

$$\hat{H}=\left(-\frac{h^2}{8\pi^2\mu}\nabla_1^2-\frac{Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 r_1}\right)+\left(-\frac{h^2}{8\pi^2\mu}\nabla_2^2-\frac{Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 r_2}\right)+\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r_{12}}$$

يمثّل القوس الأوّل طاقة حركة وطاقة وضع الإلكترون الأوّل -كما أَلِفْناها لإلكترون ذرّة الهيدروجين- ويمثّل القوس الثاني طاقة حركة وطاقة وضع الإلكترون الثاني، أمّا الحدّ الأخير فيمثّل التنافر بين الإلكترونين حسب ما يقتضيه قانون كولوم، ونلاحظ أنّ إشارة الحدّ الأخير هي موجبة لأنّ التنافر يؤدّي إلى زيادة في الطاقة الوضعيّة بخلاف التجاذب الذي يؤدّي إلى نقصان الطاقة الوضعيّة.

في حقيقة الأمر، فإنّ الحدّ الأخير، والذي يمثّل التأثير المتبادل بين الإلكترونات، هو العقبة الحقيقية عند محاولة حلّ معادلة شرودنجر لأنّه يتعذّر بوجوده فصل المتغيّرات. لنفرض أنّ الحدّ الأخير غير موجود (أي لا تنافر بين الإلكترونات)، عندها يصبح المؤثّر الهاميلتوني:

$$\hat{H}=\left(-\frac{h^2}{8\pi^2\mu}\nabla_1^2-\frac{Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 r_1}\right)+\left(-\frac{h^2}{8\pi^2\mu}\nabla_2^2-\frac{Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 r_2}\right)$$

يمكننا الآن كتابة الدالّة الموجيّة الكليّة التي تصف إلكتروني ذرّة الهيليوم على شكل حاصل ضرب دالّتين فرعيّتين كلٌّ منهما تصف الإلكترون منفرداً:

$$\psi = \psi_1(x_1, y_1, z_1) \cdot \psi_2(x_2, y_2, z_2) \qquad \textbf{(6.1)}$$

وتصبح معادلة شرودنجر على النحو التالي:

$$\begin{aligned}
&\hat{H}\,\psi = E\,\psi \\
&\hat{H}\left(\psi_1 \cdot \psi_2\right) = E\left(\psi_1 \cdot \psi_2\right) \\
&\left[\left(-\frac{h^2}{8\pi^2\mu}\nabla_1^2 - \frac{Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 r_1}\right) + \left(-\frac{h^2}{8\pi^2\mu}\nabla_2^2 - \frac{Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 r_2}\right)\right]\left(\psi_1 \cdot \psi_2\right) = E\left(\psi_1 \cdot \psi_2\right) \\
&\psi_2\left(-\frac{h^2}{8\pi^2\mu}\nabla_1^2 - \frac{Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 r_1}\right)\psi_1 + \psi_1\left(-\frac{h^2}{8\pi^2\mu}\nabla_2^2 - \frac{Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 r_2}\right)\psi_2 = E\,\psi_1 \cdot \psi_2 \\
&\psi_2\, E_1 \psi_1 + \psi_1\, E_2 \psi_2 = E\,\psi_1 \cdot \psi_2 \\
&E = E_1 + E_2
\end{aligned}$$

نستنبط ممّا سبق أنّه في حال انعدام التأثير المتبادل بين الإلكترونات فإنّ المسألة يمكن إرجاعها إلى مسألة ذرّة الهيدروجين، ويكون كلّ إلكترون في الذرّة متعدّدة الإلكترونات كما لو كان إلكترونَ ذرّة هيدروجين، وتنطبق عليه الحلول التي قدّمناها عند الكلام على ذرّة الهيدروجين (وتسمّى بالحلول أو الأفلاك الهيدروجينيّية). في هذه الحال فإنّه يمكن حساب طاقة إلكترونات ذرّة الهيليوم باستخدام المعادلة (5.7):

$$E = E_1 + E_2 = -\frac{\mu Z^2 e^4}{8\varepsilon_0^2 h^2 n_1^2} + \frac{-\mu Z^2 e^4}{8\varepsilon_0^2 h^2 n_2^2} = -\frac{\mu \cdot 2^2 \cdot e^4}{8\varepsilon_0^2 h^2}\left(\frac{1}{n_1^2} + \frac{1}{n_2^2}\right)$$

$$n_1 = n_2 = 1$$

$$E = -108.8\, eV$$

عند مقارنة القيمة المحسوبة أعلاه بالقيمة الحقيقيّة لذرّة الهيليوم في حالة الاستقرار (‎-79 eV‎) فإنّنا نجد أنّ الفرقَ كبيرٌ، ممّا يشير إلى أنّ دورَ التنافرِ كبيرٌ في تحديد طاقة الإلكترونات ولا يمكن إهماله، كما نلاحظ أنّ الطاقة ازدادت -كما هو متوقّع- بوجود التنافر.

في حال أَخذِ التنافر بين الإلكترونات بعين الاعتبار، فإنّه لا يمكننا أن نعتبر أنّ الدالّة الفرعية الخاصّة بالإلكترون الأوّل مثلاً تعتمد فقط على إحداثيّات الإلكترون الأوّل فقط، بل هي تعتمد كذلك على إحداثيّات الإلكترون الثاني، فموقع الإلكترون الثاني بالنسبة للإلكترون الأوّل يحدّد مقدار التنافر وبالتالي الطاقة الوضعيّة للإلكترون الأوّل. هذا ما نعبّر عنه بعدم القدرة على

فصل المتغيّرات:

$$\psi_1 \neq \psi_1(x_1, y_1, z_1)$$
$$\psi_1 = \psi_1(x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2)$$

في جميع الأحوال، يمكننا الاستفادة من المعادلة (6.1) كتقريب (approximation) نبدأ منه للوصول إلى الدالّة الفعليّة، متّبعين بذلك بعض الطرق المُقَعَّدة مثل نظريّة التشويش (perturbation theory).

الحجب (shielding) والاختراق (penetration)

تعتمد طاقة الإلكترون في ذرّة الهيدروجين على عدد الكم الرئيس (n) لا غير، أمّا في الذرّات متعدّدة الإلكترونات فالوضع مختلف بعض الشيء إذ يلعب أيضاً عدد الكمّ الثانوي (l) دوراً مهمّاً، فما هو السبب وراء هذا الأمر؟

E

3s 3p 3d

2s 2p

1s

H-like atom

E

3s 3p 3d

2s 2p

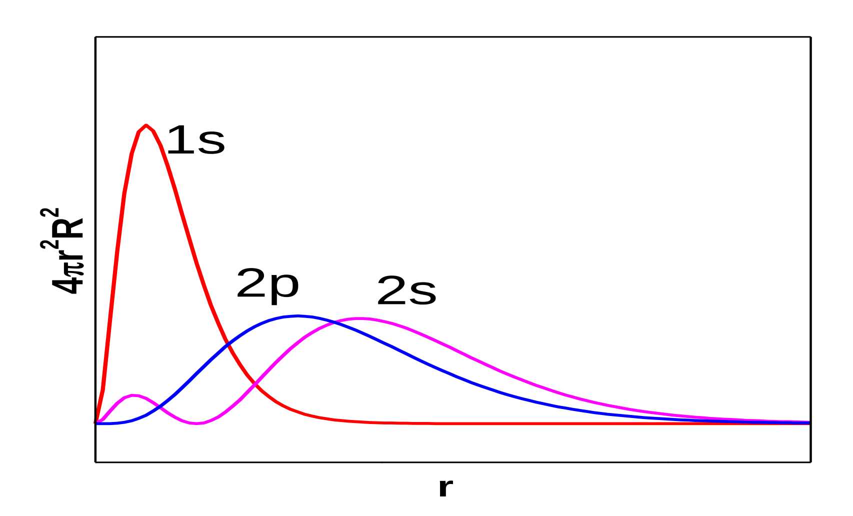
1s

Multi-electron atom

للإجابة على السؤال السابق نتأمّل في ذرّة الليثيوم في حال الاستقرار ($1s^2$ $2s^1$)، ونسأل أنفسنا عن مقدار شحنة النواة التي يحسّها الإلكترون الأخير $2s^1$. في حال إهمال وجود إلكترونات الفلك 1s فإنّ الشحنة التي سيشعر بها الإلكترون الأخير هي ولا ريب شحنة النواة أي +3. لكنّ وجود إلكترونات الفلك 1s يحجب النواة عن إلكترون الفلك 2s فلا يشعر إلاّ بجزءٍ من شحنة النواة. وعندما يكون الحجبُ كاملاً، فإنّ إلكترون الفلك 2s لا يشعر إلاّ بشحنة مقدارها +1 (عدد البروتونات-عدد الإلكترونات الحاجبة).

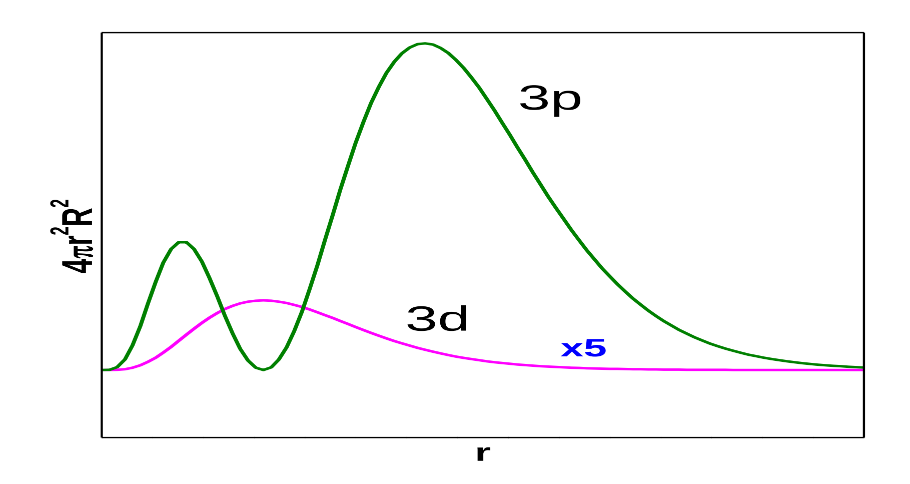
عند التأمّل في توزيع الاحتمالية القطريّة للأفلاك المختلفة ندرك أنّ الحَجْبَ لا يكون كاملاً، فإلكترونات الفلك 2s تتداخل مع إلكترونات الفلك 1sمن حيث مكان تواجدها حول النواة، بل وهناك احتمالٌ كبيرٌ بأن تتواجد إلكترونات الفلك 2s قرب النواة (القيمة القصوى

الأولى في الرسم أدناه). نَصِفُ هذا التداخل بين إلكترونات الفلكين بأنّه اختراق من إلكترونات



الفلك 2s للفلك 1s. هذا الجزء المُخْتَرِق من إلكترونات الفلك 2s لا يكون محجوباً، ولهذا السبب فإنّ الشحنة التي تشعر بها إلكترونات الفلك 2s ليست +1 وإنّما أكبر من ذلك بقليل (+1.28).

في المقابل فإنّ إلكترونات الفلك 2p أقلّ اختراقاً للفلك 1s من إلكترونات الفلك 2s وتكون بذلك أكثر احتجاباً من إلكترونات الفلك 2s وتكون بذلك شحنة النواة التي تشعر بها هذه الإلكترونات أصغر من تلك التي تشعر بها إلكترونات الفلك 2s وتبلغ قيمتها +1.02. يدلّ ما سبق أنّ إلكترونات الفلك 2s تنجذب بشدة أكبر إلى النواة من إلكترونات الفلك 2p وبذلك تكون طاقتها الوضعيّة أقلّ من تلك التي تمتلكها إلكترونات الفلك 2p.بنفس المنطق نستبين من الرسم أدناه أنّ طاقة الفلك 3d لا بدّ وان تكون أكبر من طاقة الفلك 3pبسبب ضعف اختراقها للمدار الرئيس الأوّل والثاني (n=1, n=2).



مبدأ عدم التمييز (Indistinguishibility principle)

من المبادئ الأساسيّة التي تفرضها ميكانيكا الكم وتسلّم بصحّتها هي أنّه لا يمكن التمييز بين الإلكترونات المختلفة في الذرّة. لتوضيح هذه الفكرة نتأمّل في ذرّة الهيليوم في حالة الاستقرار (1s2). حيث أنّ الإلكترونين يشتركان في أعداد الكمّ n و l و ml، فهما ولا ريب -حسب ما يقتضيه مبدأ الاستبعاد لباولي (Pauli's exclusion principle)- مختلفان في حركتهما المغزلية، واحد يدور حول نفسه "نحو الأعلى" والآخر يدور حول نفسه "نحو الأسفل".

وحسب مبدأ عدم التمييز فإنّنا لا نستطيع القول فيما إذا كان الإلكترون الأوّل هو الذي يدور "نحو الأعلى" والثاني هو الذي يدور "نحو الأسفل"، أو بالعكس. كلّ ما نستطيع أن نحدّده هو أنّ أحدهما يدور "نحو الأعلى" والآخر "نحو الأسفل" ولكنّنا لا نستطيع أن نحدّد أيّهما هو الذي يدور "نحو الأعلى" وأيّهما هو الذي يدور "نحو الأسفل". وفي حقيقة الأمر، هناك احتمال 50% أنّ الإلكترون الأوّل يدور "نحو الأعلى" واحتمال 50% أنّ الإلكترون الثاني يدور "نحو الأعلى"، وكذلك الأمر بالنسبة للدوران "نحو الأسفل".

ولا يقتصر مبدأ عدم التمييز على الحركة المغزليّة بل يمتدّ ليشمل سائر الصفات الفيزيائيّة، ولنأخذ الطاقة على سبيل المثال. تحتوي ذرّة الليثيوم في حالة الاستقرار (1s2 2s1) على ثلاثة إلكترونات، اثنان لهما نفس الطاقة E1 ويتواجدان في الفلك 1s، والثالث موجود في الفلك 2s وطاقته E2. لا نستطيع -حسب مبدأ عدم التمييز- أن نحدّد أيّ الإلكترونات الثلاثة موجود في الفلك 2s بطاقة قدرها E2 وأيّها موجود في الفلك 1s بطاقة قدرها E1. لو فرضنا أنّ هذه الإلكترونات الثلاثة ملوّنة، أحدها أحمر والثاني أخضر والأخير أزرق، فإنّ هنالك احتمالاً مقداره 33% أن نجد الإلكترون الأحمر في الفلك 2s واحتمالاً مقداره 67% أن نجده في الفلك 1s، وكذلك الأمر بالنسبة للإلكترونين الآخرين.

سنحاول الآن أن نجد التعبير الرياضي المناسب الذي يحقّق مبدأ عدم التمييز لذرّة هيليوم مثارة (1s1 2s1)، ولنبدأ متجاهلين التنافر بين الإلكترونين ممّا يمكّننا من كتابة الدالّة الكلّيّة التي تمثّل إلكترونات الهيليوم على شكل حاصل ضرب الدالّة الهيدروجينيّة للإلكترون الأوّل ⊠⊠⊠⊠ بالدالّة الهيدروجينيّة للإلكترون الثاني ⊠⊠⊠⊠:

$$\psi_{total} = \psi(1) \cdot \psi(2)$$
$$\psi_{total} = \psi_{1s}(1) \cdot \psi_{2s}(2)$$

المشكلة في الدالّة أعلاه أنّها تتجاهل مبدأ عدم التمييز، إذ إنّها تقرّر أنّ الإلكترون الأوّل موجود في الفلك 1s والثاني في الفلك 2s، وتتجاهل بذلك احتمال وجود الإلكترون الأوّل في الفلك 2s والثاني في الفلك 1s. في المقابل، فإنّ الدالة $\psi_{total} = \psi_{1s}(2) \cdot \psi_{2s}(1)$ **ليست بأحسن حالاً من الدالّة الأولى وتتعارض كذلك مع مبدأ عدم التمييز. وللتخلّص من هذا المأزق نقوم بعمل تركيبة خطّية من الدالّتين أعلاه تتوافق مع مبدأ عدم التمييز:**

$$\psi_{space}^{\pm} = \frac{1}{\sqrt{2}}\left[\psi_{1s}(1)\psi_{2s}(2) \pm \psi_{1s}(2)\psi_{2s}(1)\right] \quad \textbf{(6.2)}$$

يجدر التنبّه إلى أنّ الثابت $1/\sqrt{2}$ نحصل عليه من شرط العياريّة، أمّا التركيبتان الخطيّتان فيمكن الحصول على إحداهما (ذات الإشارة السالبة) من حل المُحَدِّدة (determinant):

$$\begin{vmatrix} \psi_{1s}(1) & \psi_{1s}(2) \\ \psi_{2s}(1) & \psi_{2s}(2) \end{vmatrix}$$

وبشكلٍ عامّ، نستطيع إيجاد الدالّة الكلّيّة المناسبة لنظامٍ يتكوّن من العدد n من الإلكترونات بحلّ ما يسمّى بمحدّدة سليتر (Slater):

$$\begin{vmatrix} \psi_1(1) & \psi_1(2) & \cdots & \psi_1(n) \\ \psi_2(1) & \psi_2(2) & \cdots & \psi_2(n) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \psi_n(1) & \psi_n(2) & \cdots & \psi_n(n) \end{vmatrix}$$

حيث أنّ الرقم داخل الأقواس يمثّل رقم الإلكترون المعتبر، أمّا الرقم الصغير أسفل رمز الدالة فيمثّل الحلول الهيدروجينيّة لهذه الإلكترونات وعددها n.

مبدأ باولي (Pauli Principle)

نبقى مع ذرّة الهيليوم في الحالة المثارة (1s1 2s1) ونسأل أنفسنا عن عدد التركيبات المختلفة لحركة الإلكترونين المغزليّة في هذه الذرّة؟

E 2s 1s

$$\Psi_{spin,1}=\alpha(1)\alpha(2) \quad \Psi_{spin,2}=\beta(1)\beta(2) \quad \Psi_{spin,3}=\alpha(1)\beta(2) \quad \Psi_{spin,4}=\beta(1)\alpha(2)$$

كما يتّضح من الرسم أعلاه فإنّ هناك أربع تركيبات مختلفة ممثّلةً في دالاّت الحركة المغزلية (spin) □spin,4 ... □spin,1، إلاّ أنّ الدالّتين □spin,3 و □spin,4 لا تتفقان مع مبدأ عدم التمييز (وضّح ذلك) لذا وجب استبدالهما بتركيبتين خطّيتين متوافقتين مع هذا المبدأ:

$$\psi_{spin}^{\pm} = \frac{1}{\sqrt{2}}\left[\alpha(1)\beta(2) \pm \beta(1)\alpha(2)\right]$$

ينصّ مبدأ باولي على أنّ الدالّة الكلّية والتي تتكوّن من حاصل ضرب دالّة المكان (space) ودالّة الحركة المغزليّة (spin) يجب أن تكون غير متماثلة فيما يخصّ عمليّة تبديل الإلكترونات (exchange of electrons). ويكتب هذا المبدأ رياضيّاً على النحو التالي:

$$\hat{P}_{12}\psi_{total} = -\psi_{total}$$
$$\psi_{total} = \psi_{space} \cdot \psi_{spin}$$

حيث أنّ $\hat{P}_{12}$ هو مؤثّر التبديل (exchange operator) وعمله هو وضع الإلكترون الأوّل محِلّ الإلكترون الثاني والثاني محِلّ الأوّل. وعند تشغيل هذا المؤثّر على دالاّت الحركة المغزليّة الأربع نجد أنّ ثلاثة منها متماثلة بالنسبة لعمليّة التبديل أمّا الرابعة فغير متماثلة:

$$\hat{P}_{12}\psi_{spin,1} = \hat{P}_{12}\left[\alpha(1)\alpha(2)\right] = \alpha(2)\alpha(1) = \psi_{spin,1}$$
$$\hat{P}_{12}\psi_{spin,2} = \hat{P}_{12}\left[\beta(1)\beta(2)\right] = \beta(2)\beta(1) = \psi_{spin,2}$$
$$\hat{P}_{12}\psi^{+}_{spin} = \frac{1}{\sqrt{2}}\hat{P}_{12}\left[\alpha(1)\beta(2) + \beta(1)\alpha(2)\right] = \frac{1}{\sqrt{2}}\left[\alpha(2)\beta(1) + \beta(2)\alpha(1)\right] = \psi^{+}_{spin}$$
$$\hat{P}_{12}\psi^{-}_{spin} = \frac{1}{\sqrt{2}}\hat{P}_{12}\left[\alpha(1)\beta(2) - \beta(1)\alpha(2)\right] = \frac{1}{\sqrt{2}}\left[\alpha(2)\beta(1) - \beta(2)\alpha(1)\right] = -\psi^{-}_{spin}$$

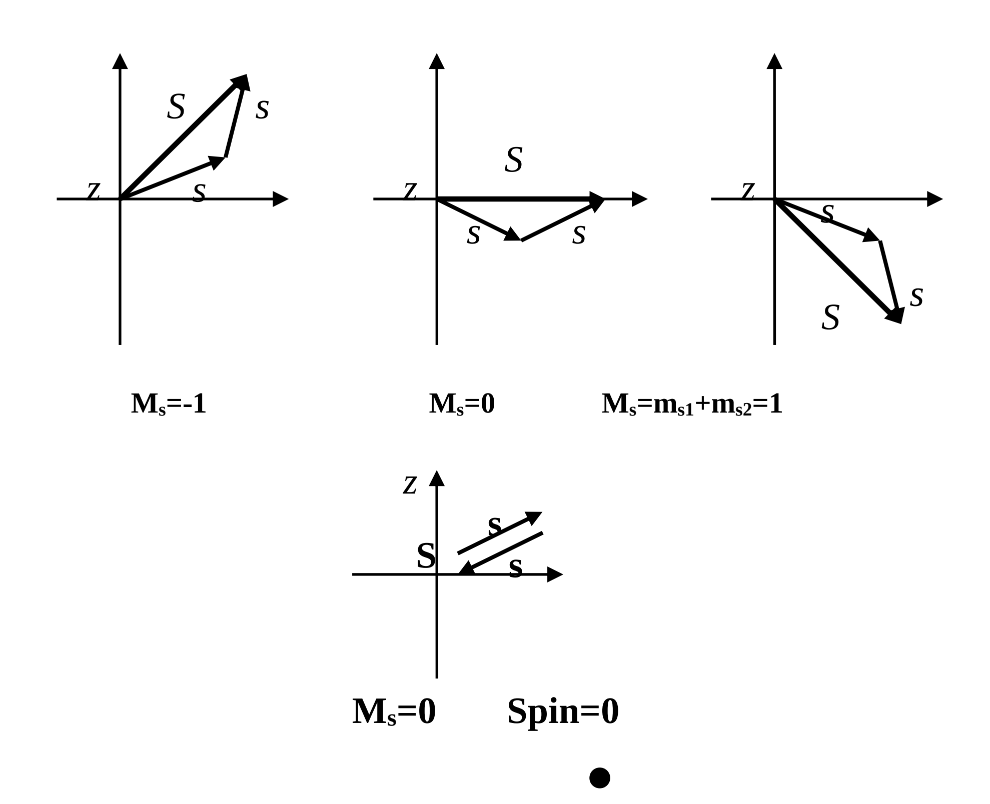
أمّا بالنسبة لدالّتي المكان لذرّة الهيليوم المثارة هذه (المعادلة 6.2)، فالأولى متماثلة في حين أنّ الثانية غير متماثلة فيما يخصّ عمليّة تبديل الإلكترونات:

$$\hat{P}_{12}\psi^{+}_{space} = \frac{1}{\sqrt{2}}\hat{P}_{12}\left[\psi_{1s}(1)\psi_{2s}(2) + \psi_{1s}(2)\psi_{2s}(1)\right] = \psi_{1s}(2)\psi_{2s}(1) + \psi_{1s}(1)\psi_{2s}(2) = \psi^{+}_{space}$$
$$\hat{P}_{12}\psi^{-}_{space} = \frac{1}{\sqrt{2}}\hat{P}_{12}\left[\psi_{1s}(1)\psi_{2s}(2) - \psi_{1s}(2)\psi_{2s}(1)\right] = \psi_{1s}(2)\psi_{2s}(1) - \psi_{1s}(1)\psi_{2s}(2) = -\psi^{-}_{space}$$

عند ضرب دالاّت الحركة المغزليّة بدالاّت المكان نجد أنّ هنالك أربع احتمالات فقط ينطبق عليها مبدأ باولي:

$$\psi_{total} = \psi_{space}^{-}\psi_{spin,1}$$
$$\psi_{total} = \psi_{space}^{-}\psi_{spin,2}$$
$$\psi_{total} = \psi_{space}^{-}\psi_{spin}^{+}$$
$$\psi_{total} = \psi_{space}^{+}\psi_{spin}^{-}$$

تمثّل الدالاّت الثلاث الأولى ما يسمّى بالحالة الثلاثيّة (triplet state) لذرّة الهيليوم المثارة حيث يكون عدد الكم المغزليّ الكلّي مساوياً لواحد (S=s1+s2=1/2+1/2=1)، أمّا الدالّة الأخيرة فتمثّل ما يسمّى بالحالة الأحاديّة (singlet state) حيث يكون عدد الكم المغزلي الكلّي مساوياً لصفر (S=s1-s2=1/2 - 1/2=0). ونفهم الآن السرّ وراء هذه التسميات، فهناك ثلاث إمكانيات لتحقيق الحالة الثلاثية (S=1) وإمكانيّة وحيدة لتحقيق الحالة الأحاديّة (S=0).


S
s
z
s
M$_s$=-1
S
z
s
s
M$_s$=0
z
s
s
S
M$_s$=m$_{s1}$+m$_{s2}$=1
z
s
S
s
M$_s$=0
Spin=0

يوضّح الرسم الفائت أنّ العزم المغزليّ الكلي (S) لإلكترونات الذرّة متعدّدة الإلكترونات هو المجموع المتّجهي للعزوم المغزليّة للإلكترونات المختلفة، وأنّ عدد الكم المغزلي المغناطيسي الكلّي للذرّة هو مجموع أعداد الكم المغزليّة المغناطيسية للإلكترونات المنفردة:

$$\vec{S} = \sum_i \vec{s}_i = \vec{s}_1 + \vec{s}_2 + ...$$

$$M_s = \sum_i (m_s)_i = (m_s)_1 + (m_s)_2 + ...$$

$$|\vec{s}_i| = \sqrt{s_i(s_i+1)}\frac{h}{2\pi}$$

$$s = +\frac{1}{2}$$

$$|\vec{S}| = \sqrt{S(S+1)}\frac{h}{2\pi} \qquad .....(6.3)$$

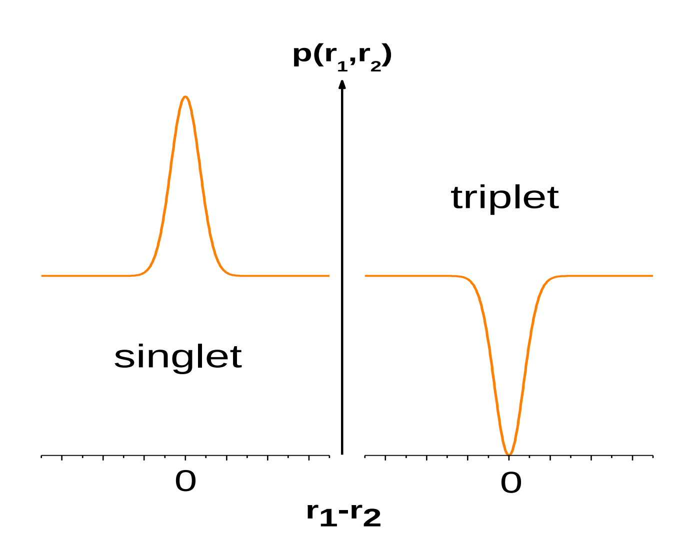
$$S = s_1 \pm s_2 \pm ....$$

$$S = 0, \frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2}, ...$$

ولكن يجب التنبّه أنّ العزم المغزليّ الكلي ($|\vec{S}|$) هو قيمة فيزيائيّة مكمّاة، وبذلك يجب على العزوم المغزليّة للإلكترونات المختلفة ($\vec{s}_i$) أن تتّخذ اتجاهاتٍ محدّدة في الفضاء لتعطي عزماً مغزليّاً كلّياً بقيمة محدّدة حسب المعادلة الأخيرة (6.3)، وتسمّى S بعدد الكم المغزلي الكلّي وتأخذ قيماً موجبة صحيحة وأنصاف صحيحة.

وأخيراً تجدر الإشارة إلى أنّ الحالة الثلاثيّة (triplet state) أقلّ طاقةً وبالتالي أكثر استقراراً من الحالة الأحاديّة (singlet state)، ويرجع ذلك إلى أنّ احتمال تواجد الإلكترونين (P) في نفس النقطة (r1=r2) هو صفر وبالتالي مستحيل في الحالة الثلاثيّة، في حين أنّه وارد في الحالة الأحاديّة ممّا يعني أنّ التنافر بين الإلكترونين يكون كبيراً جدّاً في الحالة الأحادية لاحتمال تواجد

الإلكترونين بالقرب من بعضهما وهذا التنافر يؤدّي إلى زيادة الطاقة.



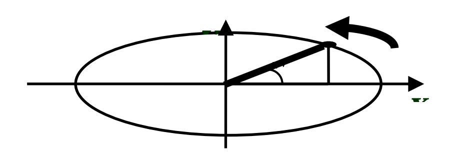
تدريب (1): كيف يمكن حساب احتمال تواجد الإلكترونين في نفس النقطة؟

الحركة الدورانيّة

(Rotational motion)

الجسيم على حلقة (particle- on-a ring)

لنبدأ بأبسط أنواع الحركة الدورانيّة وهي الدوران ثنائي الأبعاد حيث يتحرّك جسم نقطي (point particle) كتلته m بمسار دائري في المستوى x-y حول نقطة المركز.



كلاسيكيّاً، تكون طاقة دوران هذا الجسم $E_{rot} = \frac{1}{2} I \omega^2$ **1، حيث أنّ هي السرعة الزاويّة و I هي عزم القصور الذاتي (moment of inertia) والذي يمثّل توزيع كتلة الجسم حول محور الدوران. يُعرّف عزم القصور الذاتي على النحو التالي:**

$$I = \sum_i m_i r_i^2$$

حيث أنّ mi هي الكتل التي يتألّف منها الجسم الدائر، أمّا ri فهي بُعدُ هذه الكتل عن محور الدوران. وبما أنّنا ندرس حركة جسم نقطي فليس هناك إلاّ كتلة واحدة وعليه فإنّ عزم القصور الذاتي يكون I=mr2.

وبما أنّ الجسم يدور فهو يمتلك بالضرورة عزماً زاويّاً (ص 22):

$$L = I \omega$$

وعليه فإنّ طاقة الدوران بدلالة العزم الزاويّ هي:

$$E_{rot} = \frac{L^2}{2I} \quad \textbf{(7.1)}$$

1 يلاحظ التشـــابه بين قوانين الحركة الدائرية والحركة الخطية مع مراعاة اســـتبدال الســـرعة الزاويّة مكان السرعة وعزم القصور الذاتي مكان الكتلة ($E_{kin} = \frac{1}{2} m v^2$).

ننتقل إلى ميكانيكا الكم ونبدأ من معادلة شرودنجر ونلاحظ أمرين: الأوّل أنّ طاقة الوضع هي صفر لعدم تواجد الجسم تحت تأثير حقل قوّة، والثاني أنّ الحركة الدورانيّة أعلاه تتمّ في المستوى x-y فلا نحتاج بذلك إلى أخذ البعد z بعين الاعتبار.

$$\left[-\frac{h^2}{8\pi^2 m}\nabla^2 + V(x,y,z)\right]\psi(x,y,z) = E\psi(x,y,z)$$

$$\left[-\frac{h^2}{8\pi^2 m}\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}\right)\right]\psi(x,y) = E\psi(x,y)$$

من العلاقة بين x و y من جهة و r و من جهةٍ أخرى، نستطيع أن نستنبط أنّ

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2} = \frac{\partial^2}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}+\frac{1}{r^2}\frac{\partial^2}{\partial \phi^2}$$

ولكن حيث أنّ نصف القطر r ثابت خلال عمليّة الدوران أعلاه، فإنّ المشتقّة بالنسبة لـr تكون صفراً ويسقط بذلك الحدّان الأوّلان من المؤثر المطلوب لتصبح معادلة شرودنجر على النحو التالي:

$$-\frac{h^2}{8\pi^2 m}\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}\right)\psi(x,y)=-\frac{h^2}{8\pi^2 m}\left(\frac{\partial^2}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}+\frac{1}{r^2}\frac{\partial^2}{\partial \phi^2}\right)\psi(r,\phi)=E\psi(r,\phi)$$

$$-\frac{h^2}{8\pi^2 m r^2}\frac{\partial^2\psi(\phi)}{\partial\phi^2}=E\psi(\phi)$$

$$-\frac{h^2}{8\pi^2 I}\frac{\partial^2\psi(\phi)}{\partial\phi^2}=E\psi(\phi)$$

أمّا الحلّ العامّ للمعادلة التفاضليّة الأخيرة فهو $\psi(\phi)=A\cdot e^{-im\phi}$**، حيث أنّ A و m ثوابت. وبتعويض هذا الحلّ في المعادلة الأخيرة نحصل على:**

$$\frac{\partial\psi(\phi)}{\partial\phi}=-imAe^{-im\phi}=-im\psi \qquad \frac{\partial^2\psi(\phi)}{\partial\phi^2}=+i^2m^2Ae^{-im\phi}=-m^2\psi$$

$$E=\frac{m^2h^2}{8\pi^2 I} \qquad (7.2)$$

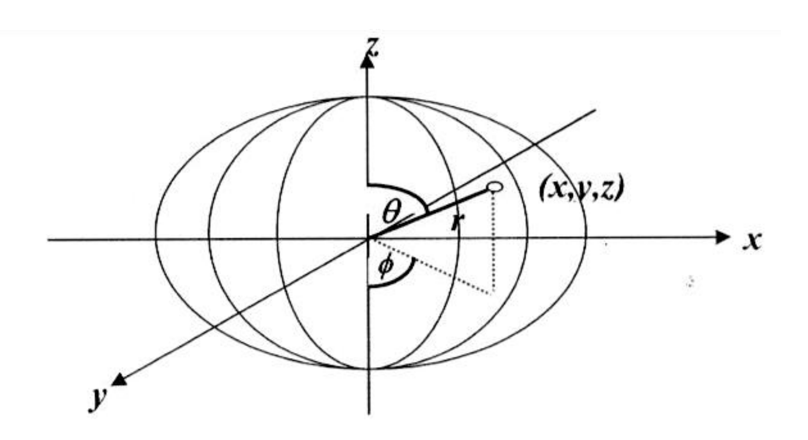
وبمقارنة المعادلة الأخيرة مع المعادلة (7.1) نستطيع أن نحدّد قيمة العزم الزاويّ:

$$L = \sqrt{2I\,E_{rot}} = \sqrt{\frac{2I\,m^2h^2}{8\pi^2 I}} = \frac{m\,h}{2\pi} \qquad (7.3)$$

ولا تختلف المعادلة (7.3) عن المعادلة (5.10) فحيث أنّ الحركة الدورانية تحصل في المستوى x-y فإنّ العزم الزاوي سيكون متّجهاً في البعد z (ص 22، ص 88)، وعليه فإنّ L في المعادلة (7.3) ما هي إلاّ Lz، هذا بالإضافة إلى أنّ m هي الأخرى مكمّاة و تأخذ القيم ...m=0, ±1, ±2, ±3 بسبب الشرط $\psi(\phi) = \psi(\phi + 2\pi)$ والذي استخدمناه عند حلّ معادلة فاي لإلكترون ذرّة الهيدروجين (ص 78).

الجسيم على سطح كرة (particle-on- a sphere)

لنتأمّل الآن في جسم نقطي ذي الكتلة m يتحرّك على سطح كرة نصف قطرها r دائراً حول مركز الكرة الواقع في نقطة الأصل.



نبدأ بالصيغة العامّة لمعادلة شرودنجر، وحيث أنّ الجسم لا يقع تحت تأثير حقل قوّة فإنّ الطاقة الوضعيّة (V) تكون صفراً. نقوم من ثمَّ بنقل المسألة إلى نظام الإحداثيّات الكروي وكذلك بكتابة الدالّة ▯على شكل حاصل ضرب الدوالّ الفرعية الثلاث R و ▯ و ▯، كما فعلنا تماماً بذرّة الهيدروجين (ص 76):

$$\left[-\frac{h^2}{8\pi^2 m}\nabla^2 + V(x,y,z)\right]\psi(x,y,z) = E\psi(x,y,z)$$

$$\left[-\frac{h^2}{8\pi^2 m}\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}+\frac{\partial^2}{\partial z^2}\right)\right]\psi(x,y,z) = E\psi(x,y,z)$$

$$-\frac{h^2}{8\pi^2 m}\left(\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\frac{\partial}{\partial r}\right)+\frac{1}{r^2\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}\left(\sin\theta\frac{\partial}{\partial\theta}\right)+\frac{1}{r^2\sin^2\theta}\frac{\partial^2}{\partial\phi^2}\right)R(r)\cdot\Theta(\theta)\cdot\Phi(\phi)$$
$$= ER(r)\cdot\Theta(\theta)\cdot\Phi(\phi)$$

وبما أنّ بعد الجسم عن مركز الدوران ثابت دوماً (ومقداره نصف القطر r) فإنّ المشتقة بالنسبة لـr ستكون بالضرورة صفراً، ويسقط بذلك الحد الأوّل من المؤثر لتصبح معادلة شرودنجر على النحو التالي:

$$-\frac{h^2}{8\pi^2 m r^2}\left(\frac{1}{\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}\left(\sin\theta\frac{\partial}{\partial\theta}\right)+\frac{1}{\sin^2\theta}\frac{\partial^2}{\partial\phi^2}\right)R(r)\cdot\Theta(\theta)\cdot\Phi(\phi)=E\,R(r)\cdot\Theta(\theta)\cdot\Phi(\phi)$$

$$-\frac{h^2 R(r)}{8\pi^2 m r^2}\left(\frac{1}{\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}\left(\sin\theta\frac{\partial}{\partial\theta}\right)+\frac{1}{\sin^2\theta}\frac{\partial^2}{\partial\phi^2}\right)\cdot\Theta(\theta)\cdot\Phi(\phi)=E\,R(r)\cdot\Theta(\theta)\cdot\Phi(\phi)$$

$$-\frac{h^2 R(r)}{8\pi^2 m r^2}\left(\frac{1}{\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}\left(\sin\theta\frac{\partial}{\partial\theta}\right)+\frac{1}{\sin^2\theta}\frac{\partial^2}{\partial\phi^2}\right)\cdot\Theta(\theta)\cdot\Phi(\phi)=E\,R(r)\cdot\Theta(\theta)\cdot\Phi(\phi)$$

$$-\frac{h^2}{8\pi^2 I}\left(\frac{1}{\sin\theta}\frac{1}{\Theta(\theta)}\frac{\partial}{\partial\theta}\left(\sin\theta\frac{\partial\Theta(\theta)}{\partial\theta}\right)+\frac{1}{\sin^2\theta}\frac{1}{\Phi(\phi)}\frac{\partial^2\Phi(\phi)}{\partial\phi^2}\right)=E$$

$$-\frac{1}{\sin\theta}\frac{1}{\Theta(\theta)}\frac{\partial}{\partial\theta}\left(\sin\theta\frac{\partial\Theta(\theta)}{\partial\theta}\right)-\frac{1}{\sin^2\theta}\frac{1}{\Phi(\phi)}\frac{\partial^2\Phi(\phi)}{\partial\phi^2}=\frac{8\pi^2 I}{h^2}E$$

وبإدخال معادلة فاي (المعادلة 5.4 ص 78) في المعادلة الأخيرة نحصل على

$$\frac{m^2}{\sin^2\theta}-\frac{1}{\sin\theta}\frac{1}{\Theta(\theta)}\frac{\partial}{\partial\theta}\left(\sin\theta\frac{\partial\Theta(\theta)}{\partial\theta}\right)=\frac{8\pi^2 I}{h^2}E$$

وبتأمّل الشقّ الأيسر من المعادلة الأخيرة نجد أنّه ليس سوى الشقّ الأيسر من معادلة ثيتا (المعادلة 5.6 ص 79)، والتي تعطينا

$$\frac{m^2}{\sin^2\theta}-\frac{1}{\sin\theta}\frac{1}{\Theta(\theta)}\frac{\partial}{\partial\theta}\left(\sin\theta\frac{\partial\Theta(\theta)}{\partial\theta}\right)=l(l+1)=\frac{8\pi^2 I}{h^2}E$$

$$E=\frac{h^2}{8\pi^2 I}l(l+1)$$

وكنّا قد تعرّضنا لحلّ معادلة ثيتا عند الكلام على ذرّة الهيدروجين وحلّها يعطينا الدالّة الزاويّة $Y_{lm}=\Theta_{lm}\cdot\Phi_m$ أو ما يُسمّى بالمتوافقات الكرويّة، وتكون قيم الثابتين **m** و **l** مكمّاة كما نعرف. ولكن جرت العادة عند بحث موضوع الحركة الدورانيّة استخدام الرمز **J** بدلاً من الرمز **l** لأغراض التمييز ومنع الالتباس، فتصبح بذلك معادلة طاقة الدوران على الصورة

$$E_{rot}=\frac{h^2}{8\pi^2 I}J(J+1)=B\,h\,J(J+1)$$

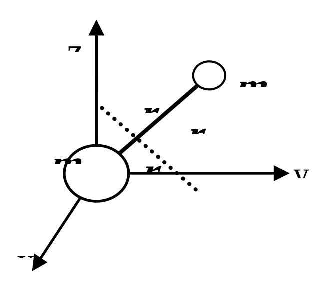
$$B=\frac{h}{8\pi^2 I}$$

ويُسمّى الثابت B بثابت الدوران (rotational constant). وحيث أنّ عدد كمّ الدوران (rotational quantum number) يأخذ القيم ... ,J=0, 1, 2، فإنّ أقلّ قيمة مسموحة لطاقة الدوران هي صفر بخلاف طاقة الاهتزاز أو الطاقة الإلكترونيّة. أمّا العزم الزاويّ فنستطيع حسابه على النحو

$$L = \sqrt{2IE} = \sqrt{J(J+1)}\frac{h}{2\pi}$$

الدوّار الصلد (Rigid Rotor)

ونقصد بالدوّار جسماً مركّباً من أكثر من جزء يدور حول نفسه، وأبسط أنواعه الدوّار ثنائي الأجزاء والذي يتكوّن من جسيمين فقط يدوران حول محورٍ يمرّ من خلال مركز ثقل النظام. أمّا كونه صلداً فيعني أنّ أبعاد (dimensions) هذا الدوّار لا تتغيّر مع دورانه حول نفسه فتبقى المسافات بين أجزائه ثابتة، بخلاف الدوّار غير الصلد الذي تزيد المسافة بين أجزائه في اتّجاه نصف قطر الدوران نتيجة القوّة الطاردة المركزية.



وكما قمنا عند معالجة ذرّة الهيدروجين بالاستعاضة عن إحداثيّات النواة والإلكترون بإحداثيّات تمثّل مركز الثقل والبعد بين الجسيمين (ص 75-76)، فإنّنا نفعل نفس الشيء في حال الدوّار أعلاه، ممّا يمكّننا من فصل الحركة الانسحابيّة وتقليص عدد المتغيّرات إلى ثلاثة. وفي حقيقة الأمر، لا تختلف معادلة شرودنجر الخاصّة بهذا الدوّار جوهريّاً عنها في حال ذرّة الهيدروجين والتي تتعلّق هي الأخرى بحركة جسيمين اثنين فقط إلاّ في أمرين اثنين: الأوّل أنّ الطاقة الوضعيّة في الدوّار الصلد هي صفر وتسقط بذلك من الاعتبار، والثاني أنّ المسافة بين الجسيمين الدائرين حول محور الدوران ثابتة وبالتالي تكون المشتقّة بالنسبة لـr كذلك صفراً،

وتصبح بذلك معادلة ذرّة الهيدروجين على النحو التالي:

$$\frac{8\pi^2\mu\, r^2\sin^2\theta}{h^2}E+\frac{\sin\theta}{\Theta(\theta)}\frac{\partial}{\partial\theta}\left(\sin\theta\frac{\partial\Theta(\theta)}{\partial\theta}\right)=-\frac{1}{\Phi(\phi)}\frac{\partial^2\Phi(\phi)}{\partial\phi^2}$$

وبترتيب المعادلة الأخيرة نحصل على معادلة ثيتا وهي نفس المعادلة التي حصلنا عليها في حال الدوران على سطح الكرة (ص 112) وتنطبق بذلك على الدوّار الصلد المعادلتان

$$E_{rot}=\frac{h^2}{8\pi^2 I}J(J+1)=B\,h\,J(J+1)$$

$$L=\sqrt{2IE}=\sqrt{J(J+1)}\,\frac{h}{2\pi}$$

ويمكننا حساب عزم القصور الذاتي كما يلي:

$$I=\sum_i m_i r_i^2=m_1 r_1^2+m_2 r_2^2$$

حيث تمثّل r1 و r2 بعد كلّ من الكتلتين m1 و m2 عن محور الدوران. وإذا أخذنا بعين الاعتبار أنّ محور الدوران يجب أنْ يمرّ في مركز الثقل لضمان عدم تحرّك مركز الثقل وبالتالي انعدام أيّ أثر للحركة الانسحابيّة خلال الدوران، فإنّ بعد الكتلتين m1 و m2 عن محور الدوران هو نفسه بعد الكتلتين عن مركز الثقل

والذي يتمّ تعريفه بأنّه النقطة التي يكون عندها مجموع عزوم القوّة (حاصل ضرب القوّة بطول الذراع) أو ما يسمّى بالعزوم الأولى (first momenta) صفراً والذي ينتج عنه أنّ

$$m_1 r_1 = m_2 r_2$$

ولكن

$$r_1 + r_2 = r_0$$

$$m_1 r_1 = m_2 (r_0 - r_1)$$

$$r_1 (m_1 + m_2) = m_2 r_0$$

$$r_1 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} r_0$$

إذاً

$$r_1 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} r_0$$

$$r_2 = \frac{m_1}{m_1 + m_2} r_0$$

وبتعويض النتيجة الأخيرة في معادلة عزم القصور الذاتي:

$$I = m_1 \left(\frac{m_2}{m_1 + m_2} \right)^2 r_0^2 + m_2 \left(\frac{m_1}{m_1 + m_2} \right)^2 r_0^2$$

$$I = \frac{m_1 m_2}{(m_1 + m_2)^2} r_0^2 (m_2 + m_1) = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} r_0^2 = \mu r_0^2$$

ويمكن الاستفادة من نموذج الدوّار الصلد في وصف الحركة الدورانيّة للجزيئات كما يتّضح من المثال التالي:

تدريب (1): إذا علمت أنّ طول الرابطة في جزيء الأكسجين (O2) هو 120.8 pm فاحسب عزم القصور الذاتي لجزيء الأكسجين، واحسب من ثَمَّ العزم الزاوي وطاقة الدوران لجزيء أكسجين في مستوى الطاقة الأوّل (J=1). أين يقع مركز الثقل في جزيء الأكسجين؟

$$m_1 = m_2 = m_O = \frac{M_O}{N_{av}}$$

$$\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} = \frac{m_1^2}{2m_1} = \frac{m_1}{2} = \frac{M_O}{2N_{av}} = \frac{15.99491\ g \cdot mol^{-1}}{2 \times 6.02 \times 10^{23}\ mol^{-1}}$$

$$\mu = 1.3285 \times 10^{-23} g = 1.3285 \times 10^{-26} kg$$

$$I = \mu r_0^2 = \left(1.3285 \times 10^{-26} kg\right) \times \left(120.8 \times 10^{-12} m\right)^2 = 1.939 \times 10^{-43} kgm^2$$

$$L = \sqrt{J(J+1)}\frac{h}{2\pi} = \sqrt{1(1+1}\frac{h}{2\pi} = \sqrt{2}\frac{h}{2\pi} = 1.486 \times 10^{-34}\ Js$$

$$E_{rot} = \frac{h^2}{8\pi^2 I} J(J+1) = \frac{h^2}{8\pi^2 I} \times 2 = \frac{h^2}{4\pi^2 I} = \frac{\left(6.6 \times 10^{-34} Js\right)^2}{4 \times 3.14^2 \times 1.939 \times 10^{-43} kgm^2} = 5.696 \times 10^{-26} J$$

أمّا مركز الثقل فسيكون في منتصف المسافة بين الذرّتين:

$$m_1 r_1 = m_2 r_2 \qquad \Rightarrow \qquad m_1 = m_2$$
$$\mapsto \qquad r_1 = r_2$$

وهو أمر معروف سلفاً بالبديهة.

تدريب (2): إذا علمت أنّ طول الرابطة في جزيء 1H-35Cl هو 1.283 Å، فاحسب مكان مركز الثقل. احسب طاقة الدوران لهذا الجزيء في المستوى J=2 واحسب عدد الدورات التي يقوم بها في الثانية الواحدة.

$$E = \frac{1}{2} I \omega^2$$
$$\omega = \sqrt{\frac{2E}{I}}$$
$$\nu = \frac{\omega}{2\pi}$$

كيمياء فيزياء البولمرات

نصنف نوعين من البوليمرات من حيث مصادر إنتاجها، هناك البوليمرات الطبيعية و البوليمرات المحضرة:

البوليمرات الطبيعية(Naturel polymers):

هذا النوع من البوليمرات مصدره نباتي يشمل المواد السيليلوزية الموجودة في الخشب و القطن و أشجار المطاط و النباتات بصفة عامة أو حيواني و يشمل الصوف و الجلود و الشعر و الحرير الخ.

البوليمرات المحضرة(Synthetic polymers):

و يشمل هذا النوع من البوليمر المواد البلاستيكية و المطاط الاصطناعي والجلود الصناعية و الأقمشة والنايلون والبولي استر والأصباغ والطلائات والزجاج المعدني والعضوي وغيرها.

هناك ثلاثة أنواع من البوليمرات من حيث البنية الفراغية:

البوليمر الخطي (linear polymer) و البوليمر المتفرع (branched polymer) و البوليمر المتشابك (cross-linked polymer).

البوليمر الخطي تكون فيه وحدات المونمر مرتبطة مع بعضها على شكل خط مستقيم كما في الشكل التالي:

-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-

البوليمر المتفرع تكون فيه و حدات المونمر مرتبطة مع بعضها على شكل ثلاثي الأبعاد كما في الشكل التالي:

```
                 CH2-CH2-CH2-CH2-CH3
                |
-CH2-CH-CH2-CH2-CH-CH2-CH2-CH2-
|
              CH-CH2-CH2-CH3
```

البوليمر المتشابك تكون فيه و حدات المونمر مرتبطة مع بعضها مكونة شبكة ثلاثية الأبعاد كما في الشكل التالي:

```
-CH2-CH-CH2-CH2-CH2-CH-CH2-CH-
|                  |
-CH2-CH-CH2-CH2-CH-CH-CH2-CH2-
              |
-CH2-CH2-CH2-CH-CH-CH2-CH-CH2-
          |           |
```

درجة تبلمر المونمر:(Polymerization degree)

نعني بدرجة تبلمر المونمر($\overline{D}p$)معدل عدد الوحدات المونمرية التي تكون سلسلة البوليمر.

و تحسب كالتالي: إذا كان متوسط الوزن الجزيئي العددي للبوليمر المراد تحديد درجة تبلمره معروف و ليكن $\overline{Mn}$ ووزن المونمر المكون له معروفكذلك و ليكن Maفان درجة تبلمر ($\overline{Dp}$) لهذا البوليمر تساوي:

$$\overline{Dp} = \frac{\overline{Mn}}{M_a}$$

أو أذا كان متوسط طول السلسلة البولمرية معروف ($\overline{\Gamma}$) و طول المونمر معروف كذلك (a) فان $\overline{Dp}$ يساوي:

$$\overline{Dp} = \frac{\overline{\Gamma}}{a}$$

تسمية البوليمرات

تسمى البوليمرات نسبة إلى المونمر المكون لها مثل:

البولي ايثلين (متعدد الايثلين): ويرمز له بالصيغة: -[-CH2-CH2-]n-

تمثل n عدد وحدات الايثيلين التي تكون سلسلة البوليمر و غالبا ما تكون مساوية ل Dp.

البولي ستايرين (متعدد الستايرين) و يرمز له بالصيغة: -[-CH(C6H5)-CH2]n-

البولي أكسيد الايثلين(متعدد أكسيد الايثلين) و يرمز له بالصيغة : -[-CH2-CH2O-]n-

أنواع البلمرة:

نصنف البلمرة على نوعين بلمرة الاضافة و بلمرة التكثف.

2-1. بلمرة الإضافة(Polyaddition)

نعني بالبلمرة الاضافية كل تفاعل متعدد الإضافة لمركب غير مشبع أو حلقي. عندما هذا الأخير لا يحتوي إلا على موقع غير مشبع آو حلقي فان التحويل يؤدي إلى تسلسل خطي ينتهي بتكوين سلاسل بوليمرية طولها يحتوي من 1000 إلى 10000 وحدة مونمرية في كل سلسلة. مثلا الستايرين (C6H5-CH=CH2) حيث جزيئاته تحتوي على مجموعة غير مشبعة فينيلية(Insatured vinyl group) و الأكسيد الاثلين (CH2-CH2O)الذي جزيئاته تكون على

شكل حلقي غير متجانس يتبلمران :

$$n \times (C_6H_5 - CH = CH_2) \longrightarrow -[-CH(C_6H_5) - CH_2 -]_n -$$

بلمرة الستايرين

الستايرين **البولي (الستايرين)**

الوحدة الموغرية هي هنا: -CH(C6H5) –CH2-

و يسمى n درجة التبلمر أو درجة البلمرة و يعني متوسط عدد الوحدات الموغرية المكونة للسلسلة.

بلمرة أكسيد الاثلين (Polymerization of ethylene oxide)

$$n \times (CH_2 - CH_2O) \longrightarrow -[CH_2 - CH_2 - O-]_n -$$

أكسيد الاثلين **البولي (أكسيد الاثلين)**

السلوكيات العامة لتفاعلات البلمرة

:(general behavior of polymerization reaction)

بصفة عامة، كل مونمر خالي تماما من الشوائب لايتبلمر من تلقاء نفسه عندما يكون محمي جيدا من الضوء و موجود عند درجة حرارة منخفضة. لكن يكفي فقط شائبة حمضية أو قاعدية أو وجود اكسجين مذاب في المونمر حتى تتم البلمرة و التفاعل يكون طارد للحرارة و سريع قد ينجم عنه انفجارا ، لهذا السبب ننصح المستخدمين لهذه المواد بإضافة إلى المونمر مثبط (inhibitor) قبل تخزينه أوأثناء نقله من مكان إلى أخر بكمية كبيرة. عند ما يوراد بلمرة هذه المواد يستلزم في هذه الحالة التخلص من هذه المواد بالتقطير تحت ضغط منخفض بعد ذلك يضاف إلى المونمر النقي حافز ما.

و بصفة عامة تفاعل بلمرة الإضافة يلخص كما في المراحل التالية:

البدء

$$\boldsymbol{M} \longrightarrow \boldsymbol{M}$$ **(تفاعل بطيء)**

النمو

$$M * + M \longrightarrow M_2^*$$

$$M_2^* + M \longrightarrow M_3^*$$ **(تفاعل سريع)**

$$M_i^* + M \longrightarrow M_{i+1}^*$$

النهاية

في هذه المرحلة النهاية تكون حسب نوعية الحافز إذا كان الحافز جدرا حرا فالنهاية تمر باحتمالات عديدة منها:

انتقال الجذر إلى الشوائب

انتقال الجذر إلى المونمر

اتحاد ماكروجزيئتين(two macromolecules) و تكوين جزيء اكبر

انتقال الجذر إلى المذيب

تكوين رابطة مزدوجة على الوحدة الأخيرة للسلسلة

إذا كان الحافز ايونا فالنهاية تكون مختلفة مقارنة مع البلمرة الجذرية و ذلك لان نهايات السلاسل البوليمرية الكربانيونية لا تتفاعل مع بعضها و لهذا السبب لا يوجد في هذا النوع من البلمرة آلية مشابهة لحركية الاتحاد أو الانشطار كالتي تحدث في البلمرة عن طريق الجذور الحرة.

يمكن القول في هذه الحالة إذا كان الوسط التفاعلي خاليا تماما من الشوائب التي يمكن أن تتفاعل مع الماكروايون(macroion) فان هذه البلمرة لا تكون لها مرحلة نهائية و البوليمرات الناتجة عنها تسمى "بوليمرات حية" .

في حالة إضافة حمض في نهاية التفاعل فالبلمرة تنتهي ببوليمر كامل التفاعل.

لكي نتمكن من معرفة آلية بلمرة الإضافة بالتدقيق نتطرق إلى دراسة كل نوع منها:

2-2-1. البلمرة عن طرق الجذور الحرة

:(Free radical polymerization)

هذا النوع من البلمرة يعتمد على حوافز قادرة على تكوين جذور حرة عند درجات حرارة معتدلة مثل البايروكسيدات و الازونيتريلات أما المونمرات القادرة على التبلمر بهذه الحوافز هي مركبات فينيلية (vinylic compounds) تحتوي أساسا على مجموعة ساحبة للالكترونات (electroatractive) مثل: الستايرين(styrene) و الاكريلات(acrylates) و المثاكريلات (methacrylates) واحماضها والفينايل كلوريد (vinylchloride) و الاكرلمايد (acrylamide) الخ.

وآلية هذه البلمرة تمر كما ذكرناه أنفا بمراحل ثلاثة هي:

البدء (initiation)

تكون مرحلة البدء كالتالي:

تكوين الجذور الحرة:

$$A_2 \xleftarrow{\Delta / h\gamma} 2A^*$$

تتم هذه المرحلة إما بالتسخين آو بالإشعاع كالفوق البنفسجي UV radiation

تكوين المركز النشط:

$$A^* + M \longrightarrow A - M^*$$

(المركز النشط)(active center)

النمو(propagation)

في هذه المرحلة يتم نمو السلسلة بإضافة مونمر تلو الأخر على المركز النشط كالتالي:

$$A - M^* + M \longrightarrow A - M - M^*$$

مرحلة تكوين الماكرو جدر(macroradical)

$$A - M_2{}^* + \boldsymbol{n} \times M \longrightarrow A - M_{n+2}^*$$

(الماكرو جدر-macroradical)

النهاية (termination)

في هذا الطور يكتمل نمو السلاسل البوليمرية كالتالي:

1- إما بالتحويل أيالماكروجدر(macroradical) يتشبع باقتلاع ذرة (بشكل عام ذرة هيدروجين أو ذرة هالوجين) من جزيء موجود في الوسط التفاعلي كجزيئات المذيب أو جزيئات الشوائب أو جزيئات المونمر أو من البوليمر نفسه كما هو موضح في الشكل التالي:

$$R-M_i^* + H-T \xrightarrow{(transfert)} R-M_i - H + T^*$$

(ماكروجزيء غير نشط)   (عامل التحويل - transfer agent)

في هذه الحالة عامل التحويل يبطل فعالية الماكروجزيء (macromolecule)

وباستطاعته بدء نمو سلسلة بوليمرية جديدة كما هو في الشكل:

$$T^* + M \longrightarrow T - M^*$$

تفاعلات التحويل في هذا النوع من البلمرة لا ينقص من عدد المراكز النشطة و لا يؤثر على حركية البلمرة و لكن بما انه يوقف النمو الطبيعي لسلاسل البوليمر في نفس الوقت يبتدئ نمو سلاسل جديدة يقلل من طول السلاسل و يؤثر على وزنها الجزيئي و توزيعه.

2- إما باتحاد سلسلتين متجاورتين و تكوين سلسلة أطول كما في الشكل التالي:

CH3- CHX-[CH2-CHX]m-CH2-CHX-CH* + *CH2- CHX-[CH2-CHX]p-CH3

2-2-2.البلمرة الانيونية (anionic polymerization)

البلمرة الانيونية يكون فيها المركز النشط (active center) أنيون وبصفة خاصة كربنيون (carbanion)عندما يكون الموئمر أليفين(olefin). من بين الحوافز التي باستطاعتها تكوين مراكز نشطة نذكر منها: المواد القوية القوية بمفهوم برونشتد(Bronsted) وتمر هذه البلمرة كما في البلمرة عن طريق الجذور الحرة بالأطوار التالية:

البدء

إن أليفين ما يمكن تنشيطه بتفاعله مع قاعدة بمفهوم برونشتد (-B) أو بآلية إرجاع أحادي الإلكترون(monoelectronic) .

$$B^{(-)} + CH_2 = CH(A) \longrightarrow B - CH_2 - (A)HC^{(-)}$$

(موئمر على شكل كربانيون منشط)

الكربانيون المكون هو عبارة عن جسيم يحتوي على كربون يحمل زوج من الالكترونات الحرة.

القاعدة (-B) يمكنها أن تكون:

ايون الهايدروكسيل(-OH) الناتج عن انشطار KOH أو NaOH في الأوساط المائية بحيث لا يتفاعل مع المجموعة الوظيفية (A) للموئمر مثل CH2=C(CN)2

.

ايونات الالكوكسايل (alcoxyle) او الفاينوكسايل (phenoxyle) .

ايون الامايديور(-NH2) المتكون في الامونيا المميئة(NH4OH) بانشطار الامايديور.

كربنيون محرر((-)R) في وسط خامل كالهايدروكربون(hydrocarbon) و الايثر(ether) المكونة من انشطار المواد العضومعدنية(organometallic) مثل: R-Li , R-Mg-X كالتالي:

$$R - Li \longrightarrow R^{(-)} + Li^{(+)}$$

$$R - Mg - X \longrightarrow R^{(-)} + Mg(X)^{(+)}$$

الإرجاع الأحادي الالكترونات (monoelectronic reduction)

المعادن الكثيرة الإرجاع كالقلويات يمكنها الإرجاع بالتحويل إلى أحادي لالكترونات الاليفينات الحاوية على مجموعة مستبدلة (A) (substituent group) ساحبة للالكترونات.

$$B^{(-)}......Me^{(+)} + CH_2 = CH(A) \longrightarrow B -^{*} CH_2 - (A)HC^{(-)}, Na^{(+)}$$

أنيون جدر(Anion radical) ايون المعدن

في هذه الحالة نتحصل على أنيون جدر الذي لا يمكث طويلا في هذه الوضعية كي يتحول باتحاده مع أنيون جدر أخر إلى ثنائي الكربانيونdicarbanion( ) حسب المعادلة التالية:

$$2\times[CH_2-(A)HC^{(-)}.....Na^{(+)}]\longrightarrow Na^{(+)}....^{(-)}CH(A)-CH_2-CH_2-(A)HC^{(-)}....Na^{(+)}$$

(داي كربانيون- dicarbanion)

النمو.

نمو السلاسل البوليمرية في هذا النوع من البلمرة يتم عبر تفاعلات متتالية من النوع التالي:

$$\boldsymbol{B}-CH_2-(A)HC^{(-)}....Me^{(+)}+CH_2=CH(A)\longrightarrow B-CH_2-CH(A)-CH_2-(A)HC^{(-)}....Me^{(+)}$$

داي مر منشط (dimer actived)　　　　موئمر منشط (monomer actived)

و بصفة عامة إذا كان M يمثل الموئمر يمكن كتابة مرحلة النمو كالتالي:

$$B-M^{(-)}....Me^{(+)}+M\longrightarrow B-M-M^{(-)}....Me^{(+)}$$

$$B-M_i-M^{(-)}....Me^{(+)}+M\longrightarrow B-M_{i+1}-M^{(-)}....Me^{(+)}$$

في كل خطوة يتم إدخال موئمرM بين الانون (-)Mو الكاتيون(+)Me المعدني.

النهاية.

من البديهي أن النهايات الكربانيونية للسلاسل البوليمرية المتكونة في المرحلة السابقة لا تتفاعل مع بعضها لبعض وبما ان هذا النوع من البلمرة يقتضي العمل في وسط خاليا تماما من الشوائب فالمرحلة النهائية في هذه الحالة غير موجودة و البوليمر الناتج يسمى "بوليمر حيا"(Live polymer) إلافي حالة إضافة قليل من مركب حامضي في هذه المرحلة فيتم تعديل الكربانيون والحصول على بوليمر ميت أو مكتمل. نعني بالبوليمر الحي تفاعله من جديد في حالة إضافة المونمر إليه.

2-2-3. البلمرة الكاتيونية (Cationic polymerization)

البلمرة الكاتيونية للاليفينات تتم بتكوين مراكز نشطة كربوكاتيونية و تمر كما في البلمرة الانيونية بالمراحل التالية:

البدء

في هذا النوع من البلمرة التفاعلات يمكن أن تبدأ باستعمال الحوافز المختارة من بين الحوافز الحمضية حسب مفهوم برونشتد أو لويسأو بمركبات يمكنها أن تؤدي إلى في أخر المطاف إلى كربوكاتيونات.

حوامض برونشتد مع الاليفينات

إن الأحماض البوتونية القوية (AmH) مثل: HCl, H2SO4, HClO4,

CCl3CO2H تنشطر بسهولة و تعطي بروتون (+)Hيثبت على جزيء الاليفين مما يكون كربوكاتيون كما في المعادلة التالية:

$$AmH \longrightarrow Am^{(-)} + H^{(+)}$$ **(انشطار الحامض)**

$$H^{(+)} + CH_2 = CH(A) \longrightarrow CH_3 - (A)HC^{(+)}$$ **(تنشيط المونمر- البدء)**

(مونمر منشط على شكل كربوكاتيون)

الكربوكاتيون هو جزيء يحتوي على درة كربون غير مشبعة وتحتوي على نقص الكتروني ممثل في الكترونين.

إن إضافة بروتون((+)H) للمونمر يكون سهلا عندما المجموعة المستبدلة (A) للمونمر تؤثر على الرابطة المزدوجة بقطبية سالبة على الطرف الغير مستبدل ، في هذه الحالة نجد المونمرات التي تتبلمر بسهولة بالطريقة الكاتيونية كما هو الحال في الايزوبيوتين(isobutene) و الايثرات الفينيلية (CH2=CH-O-R) و مشتقات الستايرين التي تحمل في موقعها البارا(para) مستبدل R أو OR.

تفاعل حوامض لويس مع الاليفينات

إن حوامض لويس تحتوي على هالوجينات المعادن الموجودة في مجموعة (III) من الجدول الدوري للعناصر نذكر منها: BF3, AlCl3 الخ و المحتوية على المعادن التحويلية مثل: ZnCl2, SnCl4, TiCl4, SbCl5 الخ.

$$MeX_n + SH \longrightarrow MeX_nSH \longrightarrow MeX_nS^{(-)} + H^{(+)}$$

في غالب الأحيان هذه المركبات في حالة نقاوة تامة وغير مميئة(anhydre) تعتبر حوافز غير فعالة و تصبح فعالة بمصاحبتها لمساعدات الحوافز (co-catalyst) مثل HX, H2O, R-OH كما تبينه المعادلات التالية:

Me : معدن تحويلي

و $BF_3 + HF \longrightarrow BF_4H \longrightarrow BF_4^{(-)} + H(+)$

و $AlCl_3 + H_2O \longrightarrow AlCl_3OH_2 \longrightarrow AlCl_3OH^{(-)} + H^{(+)}$

المركبات التي يمكنها أن توفير كربوكاتيونات

عندما الحافز يكون هالوجنيور الالكويل (Alcoyle Halogenure) آو الايثر(ether) فان آلية الحفز تصبح مختلفة قليلا عن السابقة كما توضحه المعادلة التالية:

$$BF_3 + [C_2H_5]_2O \longrightarrow BF_3,[C_2H_5]_2O \longrightarrow BF_3OC_2H_5^{(-)} + C_2H_5^{(+)}$$

و منه:

$$C_2H_5^{(+)} + CH_2 = CH(A) \longrightarrow C_2H_5 - CH_2 - (A)HC^{(+)}$$

النمو

هذه المرحلة تشبه إلى حد بعيد التي خطتها البلمرة الانيونية و فيه النمو الكاتيوني يتم بإدخال جزيئات المونمر الواحد تلوى الأخر بين الكربوكاتيون المكون و الايون المرافق له.

إذا كان التفاعل يتم باستخدام الحامض AmH يمكن تمثيل هذه المرحلة كالتالي:

$$H - CH_2 - (A)HC^{(+)}, Am^{(-)} + CH_2 = CH(A) \rightarrow H - CH_2 - CH(A) - CH_2 - (A)HC^{(+)}, Am^{(-)}$$

داي مير منشط **مونمر**

منشط

(Dimer actived) **(monomer)**

active

و ليكن:

$$H-M^{(+)}...Am^{(-)}+M \longrightarrow H-M-M^{(+)}...Am^{(-)}$$

و

$$H-M_i-M^{(+)}...Am^{(-)}+M \longrightarrow M-M_{i+1}-M^{(+)}...Am^{(-)}$$

مرحلة النمو تتأثر بطبيعة الحافز (AmH) و بطبيعة المذيب المستعمل في البلمرة أو بعبارة أخرى تتأثر بقوة الشد بين الزوج ألايوني الموجود في كل سلسلة من البوليمر

(+)M---....Am(-),

النهاية

تشبه كذلك التي تمر بها البلمرة الانيونية إلا في حالات شاذة لا نتطرق لها في هذا المقرر.

البلمرة التناسقية (Coordination polymerization)

نسمي بلمرة ايونية تناسقية عندما مساعد الايون أو الايون المعوض يوجه البنية الهندسية (Stereochemie) للتفاعل بتناسقه مع مواقع موجودة في المونمر أو في التسلسل المكون.

في هذا المقرر نكفي فقط بإعطاء بعض المعلومات على البلمرة التناسقية المحفزة بحوافز زايكلر- ناتا(Ziegler-Natta).

البلمرة بحوافز زيكلر – ناتا (Ziegler-Natta polymerization)

نجمع تحت تسمية حوافز زيكلر- ناتا كل الأنظمة المحفزة الثنائية المعدن التي تجمع:

مركب عضو معدني (organometallic) أو هايدرور معدن (metalhydrure) ينتمي إلى مجموعات I و II و III من عناصر الجدول الدوري و الأكثر فعالية التي تنتمي إلى المجموعة III و خاصة منها الألمنيوم مثل:

هايدرور الالمنيوم AlH_3

ثلاثي كلور الاليمنيوم$AlCl_3$

ثلاثي الكويل المنيومAlR_3

احادي الكلورو داي المنيوم$AlClR_2$

و مشتق معدن تحويلي ينتمي إلى المجموعات IV و V و VI نذكر منها:

التيتان (Titane) على أشكال: $Ti(4+)$ و $Ti(3+)$ و $Ti(2+)$

الفناديوم (Vanadium)على أشكال: $V(5+)$ و $VO(3+)$ و $V(4+)$ و $VO(2+)$

الموليبدن(Molybdane) على شكل: $Mo(5+)$

التانكستن(Tungesten) على الشكل: $W(6+)$

الكروم (Crome) على أشكال: $Cr(6+)$ و $Cr(3+)$

هذا المشتق يمكن أن يكون اسيتايلاسيتونات(acetylacetonate) أو سايكلو بنتادادينيل(cyclopentadienyl) أو الكولات(alcolate).

نظرا لكثير من العوامل إن آلية بلمرة زيكلر- ناتا معقدة في مجملها.

ظروف البلمرة

يمكن تقسيم ظروف البلمرة إلى نوعين أساسيين:

البلمرة المتجانسة(homogenous polymerization)

البلمرة الغير متجانسة (heterogenous polymerization)

3 - تقنيات البلمرة

3-1. البلمرة المتجانسة

تتم البلمرة المتجانسة في وسط متجانس سائل أو صلب أو غاز و هذا النوع يقتصر عادة فقط في العمل على مستوى المختبرات نظرا لصعوبة سير العملية و استخلاص البوليمر الناتج.

تشمل البلمرة المتجانسة البلمرة الكتلية و بلمرة المحاليل:

البلمرة الكتلية(Bulk polymerization)

يتم هذا التفاعل بوجود المونمر و الحافز فقط على شكل محلول وتجري البلمرة في ظروف مناسبة كدرجة الحرارة و الضغط و نقاوة المونمر حسب نوعية الحافز المستعمل في البلمرة . يتميز هذا النوع من البلمرة بالارتفاع الشديد في اللزوجة مما يعرقل حركية البلمرة في الوصول إلى مردود أعلى. هذه التقنية غير مرغوب فيها على المستوى الصناعي رغم استغنائها الكلي عن المذيب و ذلك لعدم التحكم في درجة حرارة التفاعل و صعوبة عملية استخلاص البولمر الناتج بعد التفاعل من الوسط التفاعلي العالي اللزوجة وتنظيف المفاعلات بعد العملية.

بلمرة المحاليل(Solution polymerization)

خلافا للبلمرة الكتلية إن البلمرة في وسط المحلول تتم بوجود المذيب و تتميز بحركية أبطاء من الكتلية و لكنها تؤدي في نهاية المطاف إلى مردود أعلى. في هذا النوع من البلمرة اللزوجة تكون متوسطة مما تسهل في التحريك و التحكم في درجة حرارة الوسط التفاعلي و تعتبر هذه الطرقة مفضلة عندما يراد تحظير البوليمرات بشكل محاليل حيث لا حاجة للتخلص من المذيب مثل ذلك بعض البوليمرات المستخدمة في صناعة الأصباغ و اللواصق و مواد الطلاء أو تحويلها إلى بوليمرات أخرى كالبولي فاينيل اسيتيت(polyvinyl acetate) إلى بولي فاينيل الكحول (polyvinyl alcohol)

3-2. البلمرة الغير متجانسة:

تتميز هذه البلمرة في العمل في أوساط تحتوي على أكثر من طور.

مثل:

- المونمر غازي والحافز صلب و المذيب سائل،
- المونمر سائل و المذيب لا يتجانس مع المونمر و الحافز صلب،
- المونمر سائل و المذيب لا يتجانس مع المونمر و الحافز سائل.

و أهم أنواع هذه التقنيات نذكر منها:

البلمرة في المستحلبات(Emulsion polymerization)

هذا النوع من البلمرة يجري في وسط مستحلب مكون من سائل العضوي عادة ما يكون المونمر و ماء و حافز يذوب في المونمر و يضاف إلى هذا الخليط الغير متجانس كمية قليلة من الصابون (surfactant) بحيث المستحلب المكون يكون غنيا بالماء. تفاعل البلمرة يتم في دخل الجسيمات الغروية(micelles) المحتوية على المونمر و الحافز، أما الماء الموجود بكثرة في الخليط يحيط بهذه الجسيمات و يكون مرسب للبوليمر بعد تكوينه كما هو موضح في الأشكال التالية :

جزيئات الماء

المونمر

+ الحافز

تستخدم هذه التقنية في تحضير العديد من البوليمرات الفينيلية (vinylic polymers) على المستوى الصناعي بواسطة الجذور الحرة كالبولي ستارين (polystyrene) و البولي كلورايد الفاينيل (polyvinylchloride) و المطاط الصناعي المكون من البوليمر المشترك ستارين- بيوتادين (copolymer(styrene- butadiene)، الخ.

البلمرة في العوالق(Suspension polymerization)

هذا النوع من تقنيات البلمرة يكون فيه الوسط التفاعلي مكون من الماء بكثرة و المونمر منتشر فيه على هيئة قطيرات (dropleters) متعلقة في الوسط التفاعلي. أما البوليمر المتكون يشكل طور صلب غير ذائب في الوسط المائي نظرا لكثافته العلية بالنسبة للوسط الموجود فيه فيترسب على أشكال مختلفة بودرا (Powder) أو حبيبات أو قطع صغيرة الخ.

تستعمل هذه التقنية كذلك على المستوى الصناعي حيث يتم بها تحضير العديد من البوليمرات الفاينيلية بواسطة الجذور الحرة مثل البولي (ستايرين) و البولي (مثيل ميثا كريليت)(polymethylmethacrylate) و البولي (كلوريد الفاينيل)(polyvinylchloride) و البولي (كلوريد الفاينيلين) (polyvinylidenechloride) و البولي (اكريلونتريل) (polyacrylonitrile).

4- بلمرة التكثيف (Condensation polymerization)

تعتمد بلمرة التكثيف على مونمرات تحتوي على الأقل على مجموعتين وظيفيتين(two functional) (groups).

في البوليمرات الخطية المونمرات التي تدخل في تركيبها تحتوي على مجموعتين وظيفيتين مثل:

HO-Si(CH3)2-OH , H2N-(CH2)4-NH2 , H2N-CH(CH3)-OH , HO-C(CO)-CH2-CH2-C(CO)-OH ، الخ.

أما البوليمرات المتشابكة تحضر من المونمرات ذات ثلاثة مجموعات وظيفية أو أكثر مثل:

$HO-Si(CH_3)OH-OH$, $H_2N- CH_2-CH(NH_2)-CH_2-NH_2$, $HO-CH_2-CH(NH_2)-CH_2-CO-OH$, $Cl-Si(OH)_2-Cl$

آلية بلمرة التكثيف :

يتم في بلمرة التكثيف ترابط جزيئات المونمر مع بعضها لبعض شيء فشيء مع حذف جزيئات صغيرة كجزيئات الماء لتكوين سلاسل بوملرية قصيرة (oligomers) مكونة من اثنين أو

ثلاثة وحدات مونمرية أو أكثر قليلا أي أن المونمر يختفي مند المراحل الأولى من التفاعل ثم ترتبط هذه السلاسل القصيرة مع بعضها لتكوين سلاسل أطول فأطول و في نهاية المطاف نتحصل على بوليمرات ذات أوزان جزيئية عالية. الشكل التالي يوضح هذه الآلية:

مثال 1:

$$HO-Si(CH_3)_2-OH + HO-Si(CH_3)_2-OH \longrightarrow HO-Si(CH_3)_2-O-Si(CH_3)_2-OH + H_2O$$

$$HO-Si(CH_3)_2-O-Si(CH_3)_2-OH + HO-Si(CH_3)_2-O-Si(CH_3)_2-OH \longrightarrow HO-[Si(CH_3)_2-O-]_3-OH + H_2O$$

الخ.

مثال 2:

$H_2N-(CH_2)_3-OH + H_2N-(CH_2)_3-OH \rightarrow H_2N-(CH_2)_3-HN-(CH_2)_3-OH + H_2O$

$H_2N-(CH_2)_3-HN-(CH_2)_3-OH + H_2N-(CH_2)_3-HN-(CH_2)_3-OH \rightarrow H_2N-[-(CH_2)_3-HN-]_3-$

الجدول التالي يبين بعض البوليمرات المحضرة بالتكثيف من المونمرات المناسبة لها.

البوليمر	الصيغة الكيميائية	المونمر
بولي(استر) Polyester	HO-[-CO-CH2-CH(COOR')-O-]n-H	HO-CO-CH2-CCOOR'-OH
بولي(كربونات) Polycarbonate	-[-RO-CO-O-]n-R	RO-CO-OR
بولي(امايد) Polyamide	H-[-NH-R-NH-CO-R'-CCO-]n-OH	H2N-R-NH-CO-R'-CCO-OH

بولي(ايثر) Polyether	-[-(CH2)p-O-]n-	HO-(CH)p-OH
بولي(يوريا) Polyurea	-[-CO-NH-]n-	NH2-CO-NH2
بولي(سايلوكسان) Polysiloxane	HO-[-Si(R)2-O-]n-	HO- Si(R)2-OH
بولي(يوريثان) Polyurethane	H-[-O-CH2-O-CO-NH-(CH2)p-]n-NCO	HO-CH2-O-CO-NH-(CH2)p-NCO

4- الأوزان الجزيئية للبوليمرات

إن مفهوم الأوزان الجزيئية للبوليمرات يختلف عن الأوزان الجزيئية للمركبات الأخرى لان سلاسل البوليمر تتباين في أطوالها لهذا السبب يعنى بالوزن الجزيئي للبوليمرات عادة معدل الأوزان الجزيئية (Average molecular weights) و ليس الأوزان الجزيئية المطلقة.

هناك أكثر من نوع من الأوزان الجزيئية للبوليمرات نذكر منها:

متوسط الوزن الجزيئي العددي

(Number Average molecular weight)

يرمز له ب $\overline{M}n$ و هذا النوع من الوزن الجزيئي يعتمد على عدد سلاسل البوليمر في العينة المراد تحليلها و يتم تحديدها بالعلاقة التالية:

$$\overline{M}n = \frac{\sum N_i \times M_i}{\sum N_i}$$

حيث ان Ni و Mi يرمزان على التوالي إلى عدد السلاسل البوليمرية (i) و الوزن الجزيئي لها.

متوسط الوزن الجزيئي الوزني(weight average molecular weight) و يرمز له ب $\overline{M}w$ و يستند إلى إيجاد هدا الوزن إلى كتل السلاسل البوليمرية المراد معرفة وزنها الجزيئي و يتم تحديدها بالعلاقة التالية:

$$\overline{M}w = \frac{\sum N_i \times M_i^2}{\sum N_i \times M_i}$$

متوسط الوزن الجزيئي ألزوجي(Viscosimetric average molecular weight)

$\overline{M}v$ و هذا النوع من الأوزان الجزيئية يعتمد في قياسه على لزوجة محلول يحتوي البوليمر المراد معرفة وزنه الجزيئي و يتم تحديدها بالعلاقة التالية:

$$\overline{M}v = \left[\frac{\sum Ni \times M_i^{a+1}}{\sum Ni \times Mi} \right]^a$$

حيث أن a هو ثابت تتراوح قيمته بين 0.5 و 0.9 و عندما تصبح a = 1 فيصبح عندئذ متوسط الوزن الجزيئي ألزوجي $\overline{M}v$ مساويا متوسط الوزن الجزيئي ألوزني $\overline{M}w$. و لذلك يكون معدل الوزن الجزيئي اللوزوجي دائما اقل أو مساويا لمعدل الوزن الجزيئي ألوزني و ليس أعلى منه و تتدرج القيم الثلاثة للأوزان الجزيئية كالتالي:

$$\overline{M}w > \overline{M}v > \overline{M}n$$

النسبة $\frac{\overline{M}w}{\overline{M}n}$ تسمى بنسبة توزيع الأوزان الجزيئية molecular (distribution weight و يرمز لها بحرف) (Iو تعني كذلك معامل تعدد الجزيئات (Polydispersity index)

عندما قيمة (I) تقترب من الواحد نقول بان البوليمر آحادي الجزيئات (monodisperse)

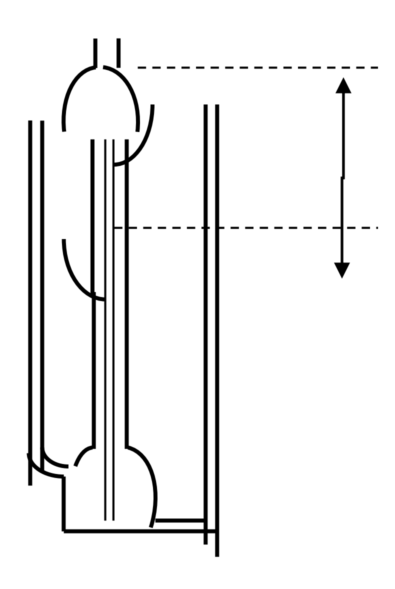
يعني هذا بان جزيئاته لها تقريبا نفس الطول و نفس الوزن بينما إذا كانت هذه القيمة تبتعد عن الواحد فالبوليمر يكون متعدد الجزيئات (polydisperse) أي أن جزيئاته مختلفة في الطول و الوزن.

5. طرق إيجاد الأوزان الجزيئية للبوليمرات

لإيجاد الأوزان الجزيئية للبوليمرات هناك عدة طرق تعتمد جميع هده التقنيات على بعض خواص البوليمرات . و قد صممت العديد من الأجهزة التي تعتمد على قياس تغيير هده الخواص مع الوزن الجزيئي للبوليمر. من هذه الأجهزة من هو مفيد لقياس الأوزان الجزيئية العالية و منه ما هو مفيد لقياس الأوزان الجزيئية المنخفضة و على هدا الأساس يجب اختيار الطريقة المناسبة. في هدا الجزء نعد فقط البعض من هده الطرق المستعملة بكثرة في المختبرات المتخصصة.

1-5. تعيين معدل الأوزان الجزيئية بطريقة قياس اللزوجة

يعتبر تعيين الوزن الجزيئي للبوليمرات بواسطة قياس اللزوجة من الطرق المألوفة في المختبرات و ذلك لسهولة و بساطة الأجهزة المستعملة . أن محاليل البوليمرات تتميز بصفة فريدة تختلف عن محاليل المواد الأخرى بكونها أكثر لزوجة



و أن هذه اللزوجة تعتمد على الوزن الجزيئي للبوليمر المذاب و تركيزه في المحلول و درجة الحرارة و نوعية البوليمر و بنيته الكيميائية و الهندسية و طبيعة المذيب الخ. و تقاس لزوجة محلول مكون من بوليمر و مذيب اعتماد على أنبوب شعري يسمى بأنبوب يوبلأهد (Ubelohde tube) و شكله كالتالي:

A

t

B

يتم في هذا الجهاز قياس زمن انسياب المذيب المستخدم في تكوين المحلول البوليمري و ليكن (to) ثم قياس زمن انسياب المحلول نفسه و ليكن (t) وهذا الزمن يعبر عن الزمن المستغرق لمرور كمية معينة من المحلول عبر الأنبوب و الزمن المستغرق لنفس الكمية من المذيب في نفس درجة الحرارة. عبر هذه القياسات يمكن حساب الزوجة كالتالي:

اللزوجة النسبية (Relative viscosity)

$$\eta_{rel} = \frac{t - t_o}{t_0}$$

اللزوجة المختزلة (Reduced viscosity)

$$\eta_{red} = \frac{t - t_0}{C \times t_0}$$ **أي أن** $$\eta_{red} = \frac{\eta_{rel}}{C}$$

C : تركيز المحلول

و من هذه العلاقة يمكن معرفة اللوزوجة الجوهرية كالتالي :

اللزوجة الجوهرية (Intrinsic viscosity)

$[\eta] = (\frac{t - t_0}{C \times t_0})_{C \to 0}$ أي أن $[\eta] = (\eta_{red})_{c \to 0}$

لتحديد الوزن الجزيئي $\overline{M}v$ يستلزم تحضير عدة محاليل ذات تراكيز مختلفة C1 و C2 و C3

و C4 الخ ثم رسم المنحنى البياني (ηred) بدلالة التركيز Ci ثم تمديد الخط حتى Ci = 0

و من اللزوجة الجوهرية $[\eta]$ نستطيع إيجاد متوسط الوزن الجزيئي اللزوجي $\overline{M}v$ بتطبيق علاقة مارك هوفينك (Mark Houwink) كالتالي:

$$[\eta] = K \times \overline{M}_V^a$$

و منه :

$$\overline{M}_V = e^{(\frac{\ln[\eta] - \ln k}{a})}$$

K و a هي ثوابت تعتمد على نوع البوليمر و المذيب المستعمل و درجة الحرارة المحلول.

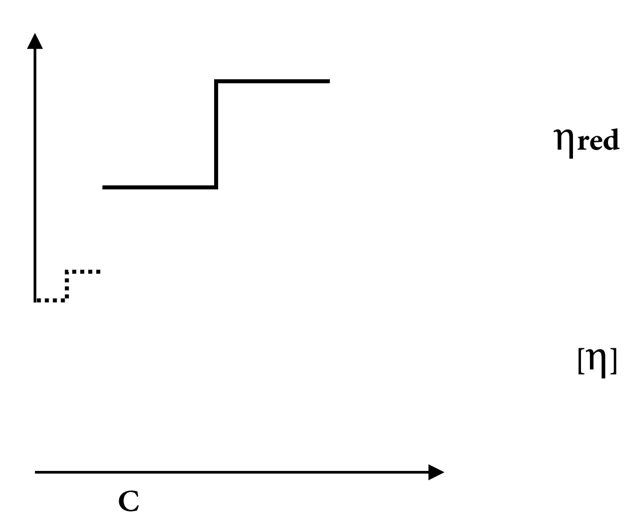
مثال:

ما هو الوزن الجزيئي ألزوجي للبولي ستارين علما بان نتائج قياس اللزوجة المختزلة بدلالة تركيز البوليمر في المذيب كانت كالتالي:

ηRed(dl/g)	1.02	0.92	0.87	0.823
C(g/dl)	0.2	0.1	0.05	0.0025

و ثوابت اللزوجة للمحلول k و a عند درجة حرارة القياس 30oC: 5-10 و 0.72 .

الحل:



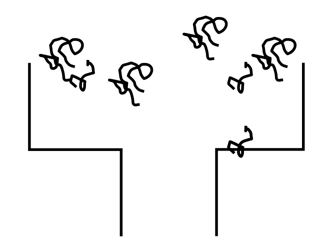
الرسم البياني ηred بدلالة التركيز C مع تمديد الخط عند C=0 أدى إلى = [η] 0.82 dl/g

5 -2. تعيين معدل الوزن الجزيئي

باستعمال طريقة الكروماتوغرافيا الفصل بالحجم

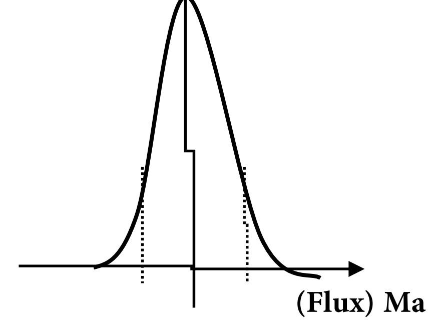
SEC (Exclusion by size chromatography)

تسمى كذلك هده الطريقة بالكروماتوغرافيا باستعمال الهلام النافد (gel permeation Chromatography) و تعتمد على عمود كروماتوغرافي مختلف عن التي يستعمل في الفصل التقليدي للمواد العضوية حيث الأعمدة فيها تتعبا ببوليمرمتشابك (polymer cross-linked) يحتوي على مسامات عادة ما يكون هدا البوليمر بولي ستارين و يتم الفصل ابتداء من الجزيئات الكبيرة ثم المتوسطة ثم الصغيرة عكس آلية الكروماتوغرافيا العادية التي أعمدتها تحتوي على داعم مغطى بطور ثابت مكون من بوليمر قطبي أو غير قطبي حسب المواد المراد فصلها و فيها الجزيئات تفصل حسب قطبيتها و الصغيرة تفصل أولا ثم المتوسطة فالكبيرة.



استثمار المعلومات من الجهاز:

بعد حقن المحلول المحتوي على عينة البوليمر المراد تعيين وزنه الجزيئي هدا الاخير يسلك المسار الموضح في الشكل أعلاه حتى يظهر على شاشة الكمبيوتر ما يلي:



Mn

Vl : حجم الدافع (Elution volume)

Vl = D x tr

(Flux) Ma Mb (min /ml) التدفق : D

tr: زمن استغراق العينة في العمود (retention time)

Vl الأوزان الجزيئية العالية:Ma

: الأوزان الجزيئية الواطئة Mb

لقياس متوسط الوزن الجزيئي العددي لبوليمر ما نعتمد على عينة ذات وزن جزيئي معروف (عينة قياسية) $\overline{M}n_s$ (standard sample) و يتم إذابتها في المذيب ثم حقنها في نفس ظروف العينة المراد معرفة وزنها الجزيئي و لتكن كمية الدافع اللزمة لخروجه هي Vs فمتوسط الوزن الجزيئي العددي للعينة يحسب كالتالي:

$$\overline{M}n = Mn_s \times \frac{V_s}{V_l}$$

مثال:

ما هو الوزن الجزيئي لعينة من البولي فينايل الكحول حجم الدافع في GPC كان 25 ml و 12.5 ml عند مرور عينة قياسية متوسط وزنها الجزيئي يساوي106 2.3 غرام لكل مول.

الحل:

$$\overline{M}n = 2.310^6 \times \frac{25}{12.5}$$ **= 4.6106**

5 -3. تعيين الأوزان الجزيئية باستعمال طريقة الضغط الاسموزي

يعتمد تعيين الوزن الجزيئي للبوليمر من قياسات الضغط الاسموزي الغشائي على تغير الضغط الاسموزي مع التركيز المولالي لمحلول البوليمر كما هو مبين في المعادلة التالية و التي تدعى بمعادلة فانت- هوف (Van't-Hoff) :

$$\frac{\pi}{C} = \frac{R \times T}{\overline{Mn}}$$

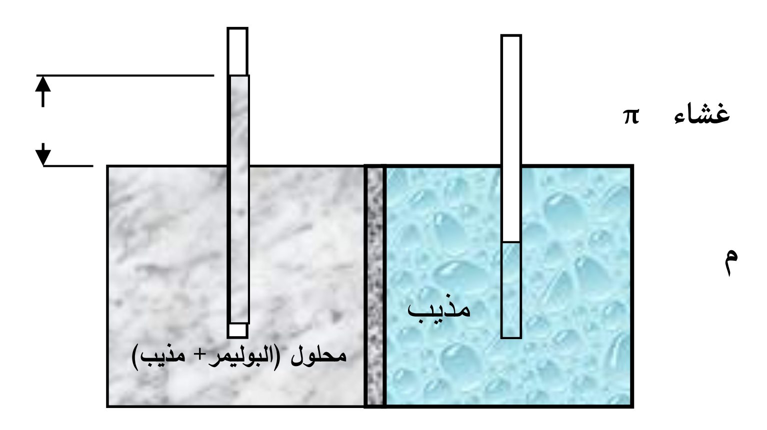
حيث أن:

π: تمثل الضغط الاسموزي.

C : التركيز المولالي للبوليمر في المحلول.

R : ثابت الغازات T : درجة حرارة العمل

نموذج لجهاز قياس الضغط الاسموزي



الأغشية المستعملة في هذه التقنية هي مصنوعة من مادة بوليمرية يسمح من خلالها مرور المذيب دون جزيئات البوليمر المراد معرفة وزنه الجزيئي(semipermeable membrane) و لهذا السبب هده التقنية تكون مجدية فقط لقياس الأوزان الجزيئية العالية أي أكثر من 25000.

من بين الأغشية المستعملة في هذه الطريقة نذكر:

البولي فاينل الكحول ((Poly(vinyl alcohol)

البولي ايزوبيوتيرالP)

oly(isobutyral))

السيلوفان (Cellophane)

الأغشية البكتيرية (Bacterial membranes)

الأغشية الغروية (Collodian membranes)

من بين ظروف استعمال هذه الأغشية هي عدم تناظرها و يقصد بذلك عدم تجانس مستوى السائل على جانبي الغشاء و يعود ذلك إلى أسباب تتعلق بكيفية تحضير الأغشية.

و يتم تعيين الأوزان الجزيئية العددية من رسم العلاقة بين Cπ/ مع التركيزC . فعند التخفيف إلا نهائي C = 0 تكون Cπ/ مساوية K/Mn حيث أن k هو ثابت المعايرة. C

4-5. تعيين معدل الاوزان الجزيئية للبوليمرات بطريقة تشتت الضوء (Light scattering)

تتسم هذه الطريقة بسهولتها و عدم الحاجة إلى وقت طويل للقياسات، يمكن بواسطتها تعيين متوسط الوزن الجزيئي ألوزني المطلق و تعيين أبعاد الجزيئات البوليمرية

مثل المسافة بين نهايتي السلسلة البوملرية و نصف قطر الكرة البوملرية و يمكن بواسطتها إيجاد معامل الانتشار للبوليمر (polydispersity index). يمكن كذلك بواسطتها إيجاد أوزان جزيئية تتراوح بين 103 لغاية بضعة ملايين و بدقة مقبولة. مشاكل هده الطريقة تكمن في نظافة المحلول البوليمري الذي يجب أن يكون خاليا تماما من الشوائب لان اصغر درة غبار تكون اكبر من آية جزيئه بوليمر لذلك يجب استخدام معدات خاصة لترشيح المحاليل و تنقيتها من آية دقائق عالقة. من ناحية أخرى يجب أن يكون هناك اختلاف ملموس بين معامل انكسار المذيب و البوليمر المذاب و أن هدا الاختلاف هو الذي يحدد إلى أي مدى من الوزن الجزيئي الواطئ يمكن تعيينه بهده الطريقة فكلما ازداد الاختلاف كلما أمكن تعيين وزن جزيء اوطاء.

المبداء Principe :

إن قياس الوزن الجزيئي بواسطة تشتت الضوء يعتمد على تشتت جزء من الضوء الساقط على محلول البوليمر أثناء اختراقه للمحلول و يعود سبب تشتت الضوء إلى عدم تجانس محلول البوليمر بسبب الحركة الحرارية لجزيئات البوليمر في المحلول. عليه، فيكون هناك باستمرار تغير في الكثافة الموقعية أو التركيز ألموقعي للمحلول مما يؤدي إلى تغير معامل الانكسار و الذي يؤدي بالنتيجة إلى تشتت الضوء. لقد طورت نظرية خاصة بتشتت الضوء لمحاليل البوليمرات من قبل دباي (Debye)لا يسع المجال في هدا المقرر إلى التطرق إلى تفاصيل و اشتقاقات هده النظرية.

و باختصار شديد يمكن أن نكتب العلاقة التي تؤدي إلى قياس متوسط الأوزان الجزيئية كالتالي:

$$\frac{H_c}{R_{90}} = \frac{1}{\overline{M}w} + 2\frac{A_2}{R \times T}C$$

حيث أن:

$$H_c = \frac{2\pi^2 \times n_0^2 (dn/dc)^2}{N_A \times \lambda^4}$$

Hc : هو ثابت التناسب يعتمد على تغير معامل الانكسار n مع التركيز C.

n و n0 هما على التوالي معامل الانكسار للمذيب و المحلول البوليمري

dn/dc : التغير في معامل الانكسار للمحلول بالنسبة للتغير في التركيز.

NA: عدد افوكادرو (Avogadro)

λ: طول موجة الضوء

R90: تغير شدة تشتت الضوء عند زاوية 90 درجة المعروفة باسم نسبة رايلي (Rayleight ratio)

A2: معامل فيريل يعتمد على التفاعلات البينية الموجودة بين البوليمر وجزيئات المذيب.

فعند التراكيز المخففة نرسم العلاقة بين Hc/R90 و التركيز C فنصل على خط مستقيم مقطعه الصادي يمثل مقلوب الوزن الجزيئي Mw.

5-5. تعيين متوسط الأوزان الجزيئية بتعديل المجاميع الوظيفية في نهاية السلسلة البوليمرية:

هذه الطريقة تكون فعالة فقط في حالة الأوزان الجزيئية الواطئة ويتم هذا بعدة طرق حسب نوع المجموعة الوظيفية.

إذا كانت هذه المجاميع حوامض أو قواعد فتعدل بالقواعد أو بالحوامض فعدد مولات القاعدة أو الحامض ألازم لتعديل هذه المجاميع في العينة يكون مساويا لعدد مولات السلاسل الموجودة فيها وبقسمة كمية العينة على عدد السلاسل نحصل على الوزن الجزيئي للبوليمر.

نستطيع كذلك أن نعين الوزن الجزيئي للبوليمرات باستعمال RMN و ذلك بتحديد مساحة البيك المناسب لأحد البروتونات أو لأحد الكربون المكون للمجموعة الوظيفية في نهاية السلسلة و المختلفة بالنسبة لوحدات المونمرية المكونة للسلسلة. بقسمته مع ما يمثله من مساحة احد البروتونات أو احد الكربونات في الوحدة المونمرية و الناتج يساوي عدد المونمرات المكونة لكل سلسلة بولمرية. فضرب هذا العدد في الوزن الجزيئي للمونمر يؤدي إلى متوسط الوزن الجزيئي للبوليمر.

البوليمرات:-

وهي جزيئات كبيرة اصلها لاتيني متكون من مقطعين هما poly (متعدد) و mer (وحدة) الوحدة البنائية للبوليمر (الجزيئة الكبيرة) تسمى monomer . فمثلاً الكلوكوز هو الوحدة البنائية للسيلسلوز ولكن يترتب السيلليلوز بترتيب اخر نحصل كلايكوجين او نشأ.

للبوليمرات أهمية يومية وليست صناعية فقط فهي تدخل في حياتنا اليومية لكونها تكون الجزء الاساسي من البروتينات والنشويات و RNA ، DNA.

يعتمد الوزن الجزيئي للبوليمرات على عدد الوحدات المكونة لذلك البوليمر ويرمز لها ب (n) كذلك يرمز لها (DP) معناها Degree of polymerization أي درجة البلمرة :- بذلك يصبح الوزن الجزيئي يساوي عدد الوحدات X الوزن الجزيئي للوحدة الواحدة.

m.wt of polymer = m.wt of monomer x n

= m.wt of monomer x DP

لم تكن البوليمرات معروفة قبل عام 1880م. تم تصنيفها من قبل العالمان راوت وفاندهوف بعد اجراء تجاربهم على المطاط الطبيعي وجدوا ان الوزن الجزيئي للمطاط 10000-40000.

عام 1900 ظهرت الاجهزة وتطور العلم وصنفت بأنها مواد غروية.

عام 1928 استطاع العالمان مارك ومايد ايجاد التركيب الفراغي للمطاط الطبيعي.

عام 1930 اكتشف الباحث كاروتيس النايلون من تفاعلات بسيطة.

عام 1931 تم تصنيع البولي استر

عام 1937 تم اكتشاف البولي اثيلين.

عام 1938 تم صناعة التفلون (Tetra fluoro ethylene) هو مادة بيضاء لاتذوب في الماء والمذيبات.

تسمية البوليمرات:-

لا تختلف تسمية البوليمرات من حيث المبدأ عن تسمية المركبات العضوية واللاعضوية الا بفارق بسيط هو وضع كلمة متعدد (poly) قبل اسم المونمر في حالة البوليمرات المنفردة وكلمة متعدد مشترك (co-poly) في حالة البوليمرات المشتركة.
لا تتاثر هذه القاعدة اذا استخدمت التسمية العامة حسب مصدر المونمروحسب نظام IUPAC فمثلاً يسمى المركب ستايرين

Poly-(1-phenyl ethylene)

كذلك توجد تسميات تجارية لا تحكمها قاعدة فمثلاً يوجد للبولي اثيلين اثناعشر اسماً تجارياً منها.

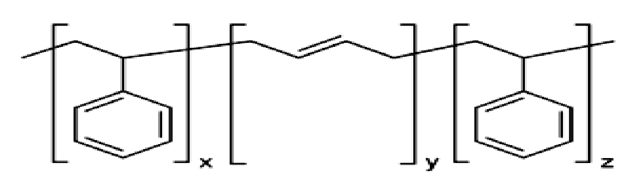
Althon> doped

Marlex > phillips

Dylan > Aramco

كذلك البوليمر المتكون من مونمرين مثل الستايرين والبيوتادايين يسمى.

Poly-(styrene-co-butadiene)



أذا كان المركب من ثلاث وحدات مختلفة مثل الستايرين، بيوتادايين، واكريلو نترايل فيسمى **Poly-(styrene-co-Butadiene-co-Acrylonitril)**

أذا كان البوليمر من وحدتين متناوبتين تكون التسمية.

Poly-(ethylene-Alt-carbon monoxide)

$$-\overset{H_2}{C}-\overset{H_2}{C}-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-\overset{H_2}{C}-\overset{H_2}{C}-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-$$

تصنيف البوليمرات:-

تصنف البوليمرات بعد الاخذ بنظر الاعتبار مصادرها، هيكلها البلوري والبنائي وكذلك تركيب الجزيئية العملاقة.

وأشهر اصناف البوليمرات يعتمد على:-

أ- من حيث المصادر:-

تقسم الى قسمين هما:-

1-بوليمرات طبيعية Natural polymer :-

مصدرها يكون نباتي كالسيلليوز والاصماغ والحرير الطبيعي و المطاط ومنها ذو مصدر حيواني كالصوف والجلود والشعر.

2-بوليمرات مصنعة Synthesis polymer:-

أصبحت كثيرة ومتنوعة مثل poly styrene, poly propylene, poly vinyl chloride

ب - من حيث الهيكل البنائي للجزيئة :-

تقسم الى ثلاثة اقسام:-

1-بوليمرات خطية أو مستوية:- Liner polymer

في هذا النوع ترتبط الوحدات البنائية (monomer) بعضها ببعض وبصورة مستمرة بحيث لا يؤدي ذلك الى تكوين فروع جانبية بالسلسلة وأهم هذه المركبات هو متعدد الاثيلين عالي الكثافة [High density poly ethylene] (HDPE) ويكون متبلور.

2-البوليمرات المتفرعة:- Branched polymers

في هذا النوع يكون ارتباط الوحدات البنائية بعضها ببعض مكوناً فروع جانبية في السلسلة البوليمرية منها:

polystyrene , polyvinyl chloride

$$H_2C{=}CH(C_6H_5) \xrightarrow{\text{Cata1yst}} \left(CH_2{-}CH(C_6H_5)\right)_x$$

styrene — Polystyrene (Styrofoam)

$$H_2C{=}CHCl \xrightarrow{\text{Cata1yst}} \left(CH_2{-}CHCl\right)_x$$

Viny1 chloride — Polyviny1 chloride (PYC)

$$H_2C{=}C(CH_3)C({=}O)OCH_3 \xrightarrow{\text{Cata1yst}} \left(CH_2{-}C(CH_3)(C({=}O)OCH_3)\right)_x$$

Methy1 methacrylate (MMA) — PMMA (Plexiglas, Lucite)

3-البوليمرات المتشابكة :- Cross linked polymer

في هذا النوع ترتبط سلاسل بوليمرية بعضها ببعض بسلاسل جانبية صغيرة مؤلفة من وحدات من نوع البوليمر او تكون غريبة عنه.

Poly (Benzimidazole-co-aniline) (PBIANI)

ج-من حيث تركيب الجزيئة:-

وتصنف الى قسمين:-

1-بوليمرات متجانسة :-   **Homo polymer**

في هذا النوع تتالف جزيئة البوليمر من وحدات بنائية متكاملة وتكون جميعها من نفس الوحدة مثال عليها البولي اثيلين

$$\left(-\underset{H}{\overset{H}{C}}-\underset{H}{\overset{H}{C}}- \right)_n$$

2-البوليمرات المركبة:- Co-polymer

في هذه الحالة تحتوي الجزيئة الواحدة من البوليمر على وحدات بنائية مختلفة مثل Poly-(styrene-co-butadiene)

د- التصنيف التقني (المقاومة الحرارية):-

تصنف البوليمرات على حسب تحملها الحراري الى انواع مختلفة. لأجل هذا التصنيف تحدد بعض الدرجات الحرارية مثل درجة حرارة الانتقال الزجاجي (Tg) Glass transition temp. :- وتعرف بانها الدرجة الحرارية التي يتحول فيها البوليمر من الحالة الصلبة الى الحالة اللينة.

كذلك Fluid Temp (Tf):- وتمثل درجة السيولة وتعرف على انها الدرجة الحرارية التي يتحول فيها الصلب او المرن الى الحالة السائلة.

كذلك melting temp(Tm):- تسمى درجة الانصهار البلوري وهي الدرجة الحرارية التي تختفي عندها اخر التراكيب البلورية.

الفهرس